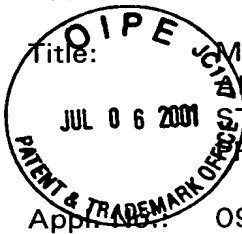


2
BT
2600
10-24-01
2123

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: Toshiyuki SYO



Title: METHOD OF GENERATING MESH
AND STORAGE MEDIUM
STORING MESH GENERATING
PROGRAM

App. No.: 09/843,743

Filing Date: 04/30/2001

Examiner: Unknown

Art Unit: Unknown

RECEIVED
JUL 09 2001
Technology Center 2600

RECEIVED
JUL 11 2001
Technology Center 2100

CLAIM FOR CONVENTION PRIORITY

Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following foreign country is hereby requested, and the right of priority provided in 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed.

In support of this claim, filed herewith is a certified copy of said original foreign application:

- Japanese Patent Application No. 2000-129826 filed 04/28/2000.

Respectfully submitted,

Date July 6, 2001

FOLEY & LARDNER
Washington Harbour
3000 K Street, N.W., Suite 500
Washington, D.C. 20007-5109
Telephone: (202) 672-5407
Facsimile: (202) 672-5399

By David A. Blumenthal Reg No 43445
For David A. Blumenthal
Attorney for Applicant
Registration No. 26,257



日本国特許庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出願年月日
Date of Application:

2000年 4月28日

出願番号
Application Number:

特願2000-129826

出願人
Applicant(s):

日本電気株式会社

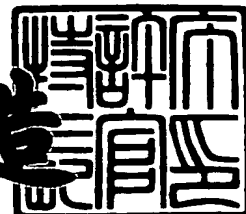
RECEIVED
JUL 09 2001
Technology Center 2600

RECEIVED
JUL 11 2001
Technology Center 2100

2001年 2月23日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3011495

【書類名】 特許願

【整理番号】 74112205

【提出日】 平成12年 4月28日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 29/00
G06F 17/00
G06F 17/50

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

【氏名】 庄 俊之

【特許出願人】

【識別番号】 000004237

【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【代理人】

【識別番号】 100099830

【弁理士】

【氏名又は名称】 西村 征生

【電話番号】 048-825-8201

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 038106

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9407736

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 メッシュ生成方法及びメッシュ生成プログラムを記録した記録媒体

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体プロセスシミュレーション又は半導体デバイスシミュレーションで用い、メッシュの最適配置を決めるメッシュ生成方法であって、

メッシュ点を初期配置するメッシュ点初期配置ステップと、

メッシュ点の配置パターンに対応した所定の値をとりメッシュ点の最適配置の達成のための指標として用いられる所定の評価関数の配置パターンに対応した値を算出する評価関数算出ステップと、

乱数を発生させる乱数発生ステップと、

前記乱数発生ステップで発生した前記乱数に対応した位置へ所定のメッシュ点を移動させた場合の前記評価関数の値を算出する再配置時評価関数算出ステップと、

前記評価関数算出ステップで算出された前記評価関数の値と、前記再配置時評価関数算出ステップで算出された前記評価関数の値とに基づいて、前記メッシュ点の移動の適合判定を行う適合判定ステップと、

前記適合判定ステップで適合していると判定した場合は、前記メッシュ点を移動させてメッシュ点の再配置を行うメッシュ点再配置ステップと

を備えたことを特徴とするメッシュ生成方法。

【請求項 2】 半導体プロセスシミュレーション又は半導体デバイスシミュレーションで用い、メッシュの最適配置を決めるメッシュ生成方法であって、

メッシュ点を初期配置するメッシュ点初期配置ステップと、

メッシュ点の配置パターンに対応した所定の値をとりメッシュ点の最適配置の達成のための指標として用いられる所定の評価関数の配置パターンに対応した値を算出する評価関数算出ステップと、

前記評価関数の値が最適配置状態に近づくような再配置に対応する極値になる方向の所定の位置へ、所定のメッシュ点を移動させた場合の前記評価関数の値を算出する再配置時評価関数算出ステップと、

前記評価関数算出ステップで算出された前記評価関数の値と、前記再配置時評価関数算出ステップで算出された前記評価関数の値とに基づいて、前記メッシュ点の移動の適合判定を行う適合判定ステップと、

前記適合判定ステップで適合であると判定した場合は、前記メッシュ点を移動させてメッシュ点の再配置を行うメッシュ点再配置ステップと

を備えたことを特徴とするメッシュ生成方法。

【請求項 3】 半導体プロセスシミュレーション又は半導体デバイスシミュレーションで用い、メッシュの最適配置を決めるメッシュ生成方法であって、

メッシュ点を初期配置するメッシュ点初期配置ステップと、

メッシュ点の配置パターンに対応した所定の値をとりメッシュ点の最適配置の達成のための指標として用いられる所定の評価関数の配置パターンに対応した値を算出する評価関数算出ステップと、

所定のメッシュ点を削除した場合の前記評価関数の値を算出する再配置時評価関数算出ステップと、

前記評価関数算出ステップで算出された前記評価関数の値と、前記再配置時評価関数算出ステップで算出された前記評価関数の値とに基づいて、前記メッシュ点の削除の適合判定を行う適合判定ステップと、

前記適合判定ステップで適合であると判定した場合は、前記メッシュ点を削除させてメッシュ点の再配置を行うメッシュ点再配置ステップと

を備えたことを特徴とするメッシュ生成方法。

【請求項 4】 半導体プロセスシミュレーション又は半導体デバイスシミュレーションで用い、メッシュの最適配置を決めるメッシュ生成方法であって、

メッシュ点を初期配置するメッシュ点初期配置ステップと、

メッシュ点の配置パターンに対応した所定の値をとりメッシュ点の最適配置の達成のための指標として用いられる第 1 及び第 2 の評価関数の配置パターンに対応した値を算出する評価関数算出ステップと、

第 1 の乱数を発生させる第 1 の乱数発生ステップと、

第 2 の乱数を発生させる第 2 の乱数発生ステップと、

前記第 1 の乱数に基づいて第 1 の確率で実施され、前記第 2 の乱数発生ステッ

で発生した前記第 2 の乱数に対応した位置へ所定のメッシュ点を移動させた場合の前記第 1 の評価関数の値を算出する第 1 の再配置時評価関数算出ステップと

、
前記第 1 の乱数に基づいて第 2 の確率で実施され、前記第 2 の評価関数の値が最適配置状態に近づくような再配置に対応する極値になる方向の所定の位置へ、所定のメッシュ点を移動させた場合の前記第 2 の評価関数の値を算出する第 2 の再配置時評価関数算出ステップと、

前記評価関数算出ステップで算出された前記第 1 又は第 2 の評価関数の値と、前記第 1 又は第 2 の再配置時評価関数算出ステップで算出された前記第 1 又は第 2 の評価関数の値とに基づいて、前記メッシュ点の移動の適合判定を行う適合判定ステップと、

前記適合判定ステップで適合であると判定した場合は、前記メッシュ点を移動させてメッシュ点の再配置を行うメッシュ点再配置ステップと

を備えたことを特徴とするメッシュ生成方法。

【請求項 5】 メッシュ点を初期配置するメッシュ点初期配置ステップと、メッシュ点の配置パターンに対応した所定の値をとりメッシュ点の最適配置の達成のための指標として用いられる第 1、第 2、及び第 3 の評価関数の配置パターンに対応した値を算出する評価関数算出ステップと、

第 1 の乱数を発生させる第 1 の乱数発生ステップと、

第 2 の乱数を発生させる第 2 の乱数発生ステップと、

前記第 1 の乱数に基づいた第 1 の確率で実施され、前記第 2 の乱数発生ステップで発生した前記第 2 の乱数に対応した位置へ所定のメッシュ点を移動させた場合の前記第 1 の評価関数の値を算出する第 1 の再配置時評価関数算出ステップと

、
前記第 1 の乱数に基づいた第 2 の確率で実施され、前記第 2 の評価関数の値が最適配置状態に近づくような再配置に対応する極値になる方向の所定の位置へ、所定のメッシュ点を移動させた場合の前記第 2 の評価関数の値を算出する第 2 の再配置時評価関数算出ステップと、

前記第 1 の乱数に基づいた第 3 の確率で実施され、所定のメッシュ点を削除し

た場合の前記第 3 の評価関数の値を算出する第 3 の再配置時評価関数算出ステップと、

前記第 1 又は第 2 の再配置時評価関数算出ステップが実施された場合に、前記評価関数算出ステップで算出された前記第 1 又は第 2 の評価関数の値と、前記第 1 又は第 2 の再配置時評価関数算出ステップで算出された前記第 1 又は第 2 の評価関数の値とに基づいて、前記メッシュ点の移動の適合判定を行うと共に、

前記第 3 の再配置時評価関数算出ステップが実施された場合に、前記評価関数算出ステップで算出された前記第 3 の評価関数の値と、前記第 3 の再配置評価関数算出ステップで算出された前記第 3 の評価関数の値とに基づいて、前記メッシュ点の削除の適合判定を行う適合判定ステップと、

前記適合判定ステップで、適合であると判定した場合は、前記メッシュ点を移動させ又は削除してメッシュ点の再配置を行うメッシュ点再配置ステップと

を備えたことを特徴とする請求項 4 記載のメッシュ生成方法。

【請求項 6】 前記第 1 又は第 2 の評価関数は、前記メッシュ点の配置パターンが最適配置状態へ向かって再配置されるのに対応して、前記第 1 又は第 2 の評価関数の値が減少するように予め設定され、

前記適合判定ステップで、前記再配置時評価関数算出ステップで算出された前記第 1 又は第 2 の評価関数が、前記評価関数算出ステップで算出された前記第 1 又は第 2 の評価関数の値に対して増加したときは、所定の許可確率で、前記メッシュ点の移動は可であると判定すると共に、

前記許可確率は、メッシュ点の再配置回数の増加と共に徐々に減少するように設定されることを特徴とする請求項 4 記載のメッシュ生成方法。

【請求項 7】 前記第 1 の確率は、前記再配置回数の増加と共に徐々に減少するように設定されることを特徴とする請求項 6 記載のメッシュ生成方法。

【請求項 8】 半導体装置の製造工程のシミュレーションにおいて実施されることを特徴とする請求項 4, 5, 6 又は 7 記載のメッシュ生成方法。

【請求項 9】 前記第 2 の再配置時評価関数算出ステップで、前記第 1 又は第 2 の評価関数が最適配置状態に近づくような再配置に対応する極値になる方向は、同一メッシュ点の次回の前記第 2 の再配置時評価関数算出ステップにおける

移動時の方向とされることを特徴とする請求項 4, 5, 6, 7 又は 8 記載のメッシュ生成方法。

【請求項 1 0】 前記第 1 及び第 2 の再配置時評価関数算出ステップでは、所定のメッシュ点の近傍で前記第 1 及び第 2 の評価関数の値を算出することを特徴とする請求項 4, 5, 6, 7, 8 又は 9 記載のメッシュ生成方法。

【請求項 1 1】 半導体プロセスシミュレーション又は半導体デバイスシミュレーションで用い、メッシュの最適配置を決めるためのメッシュ生成プログラムを記録した記録媒体であって、

メッシュ点を初期配置するメッシュ点初期配置ステップと、

メッシュ点の配置パターンに対応した所定の値をとりメッシュ点の最適配置の達成のための指標として用いられる所定の評価関数の配置パターンに対応した値を算出する評価関数算出ステップと、

乱数を発生させる乱数発生ステップと、

前記乱数発生ステップで発生した前記乱数に対応した位置へ所定のメッシュ点を移動させた場合の前記評価関数の値を算出する再配置時評価関数算出ステップと、

前記評価関数算出ステップで算出された前記評価関数の値と、前記再配置時評価関数算出ステップで算出された前記評価関数の値とに基づいて、前記メッシュ点の移動の適合判定を行う適合判定ステップと、

前記適合判定ステップで適合していると判定した場合は、前記メッシュ点を移動させてメッシュ点の再配置を行うメッシュ点再配置ステップと

をコンピュータに実行させるプログラムを記録したことを特徴とするメッシュ生成プログラムを記録した記録媒体。

【請求項 1 2】 半導体プロセスシミュレーション又は半導体デバイスシミュレーションで用い、メッシュの最適配置を決めるためのメッシュ生成プログラムを記録した記録媒体であって、

メッシュ点を初期配置するメッシュ点初期配置ステップと、

メッシュ点の配置パターンに対応した所定の値をとりメッシュ点の最適配置の達成のための指標として用いられる所定の評価関数の配置パターンに対応した値

を算出する評価関数算出ステップと、

前記評価関数の値が最適配置状態に近づくような再配置に対応する極値になる方向の所定の位置へ、所定のメッシュ点を移動させた場合の前記評価関数の値を算出する再配置時評価関数算出ステップと、

前記評価関数算出ステップで算出された前記評価関数の値と、前記再配置時評価関数算出ステップで算出された前記評価関数の値とに基づいて、前記メッシュ点の移動の適合判定を行う適合判定ステップと、

前記適合判定ステップで適合であると判定した場合は、前記メッシュ点を移動させてメッシュ点の再配置を行うメッシュ点再配置ステップと

をコンピュータに実行させるプログラムを記録したことを特徴とするメッシュ生成プログラムを記録した記録媒体。

【請求項 1 3】 半導体プロセスシミュレーション又は半導体デバイスシミュレーションで用い、メッシュの最適配置を決めるためのメッシュ生成プログラムを記録した記録媒体であって、

メッシュ点を初期配置するメッシュ点初期配置ステップと、

メッシュ点の配置パターンに対応した所定の値をとりメッシュ点の最適配置の達成のための指標として用いられる所定の評価関数の配置パターンに対応した値を算出する評価関数算出ステップと、

所定のメッシュ点を削除した場合の前記評価関数の値を算出する再配置時評価関数算出ステップと、

前記評価関数算出ステップで算出された前記評価関数の値と、前記再配置時評価関数算出ステップで算出された前記評価関数の値とに基づいて、前記メッシュ点の削除の適合判定を行う適合判定ステップと、

前記適合判定ステップで適合であると判定した場合は、前記メッシュ点を削除させてメッシュ点の再配置を行うメッシュ点再配置ステップと

をコンピュータに実行させるプログラムを記録したことを特徴とするメッシュ生成プログラムを記録した記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

この発明は、半導体デバイスを開発する際の特に半導体プロセスシミュレーションで用いて好適なメッシュ生成方法及びメッシュ生成プログラムを記録した記録媒体に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、半導体デバイス製造工程や半導体デバイス特性解析が普遍的に取り扱える計算機シミュレーション技術の開発が進んできている。プロセスシミュレーションでは、酸化、CVD、リソグラフィ、エッチング、イオン注入、拡散等各プロセスのシミュレーションが行われる。例えば拡散工程では、拡散方程式を解くことによって、不純物濃度分布が得られる。

また、デバイスシミュレーションでは、半導体デバイス内部の物理量を知るために、電位とキャリア濃度との関係を示すポアソン方程式や電流連続式等の偏微分方程式を解いている。

上記拡散方程式やポアソン方程式等を解くには、半導体デバイスを小さな長方形又は三角形要素（メッシュ）に分割し、偏微分方程式を離散化して計算する方法が一般的である。

一般的に半導体シミュレーションの計算精度はメッシュの分割の仕方に大きく依存しており、メッシュ数を増やす程精度は向上する。一方、計算時間はメッシュ数に対して超一次的に増加するため、できるかぎり少ないメッシュ数で、高い計算精度を達成する「適合メッシュ」を発生させるメッシュ発生方法が従来より研究されてきている。

【0003】

この従来のメッシュ発生方法においては、予め粗い初期メッシュを発生させ、この後、必要部分に逐次メッシュ点を追加して、メッシュ要素を細分化する方法が用いられてきている。例えば、局所的な不純物濃度と変化率及び偏微分方程式の誤差が大きいメッシュ点間を結ぶメッシュ枝上に、メッシュ点を追加して三角要素を細分化するという方法が提案されている。

また、上記方法によるメッシュ点数の増大化に対応するために、特開平7-1

69936号公報に開示されているように、メッシュ点数を一定に保ったままメッシュを発生する方法も提案されている。

この方法では、まず、初期のメッシュ点配置の状態で三角メッシュを生成する（ステップST101（図19））。この後、三角メッシュの頂点を結ぶメッシュ枝に対して、メッシュ枝により結合されたメッシュ点の組間の不純物濃度差に対応した係数 k を与える（ステップST102）。最後に、各メッシュ枝を係数 k をばね定数としてもつばねとみなして、静力学的均衡条件を満たすように、各メッシュ点位置を変更する（ステップST103）。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記メッシュ生成方法では、一度三角メッシュを生成した後に、三角メッシュの頂点の座標値の移動を行っているために、メッシュ点位置の最適化の前に、三角メッシュの生成を行うこととなり、計算量が増大するという問題がある。

また、メッシュ点を移動させると全体的にメッシュ構成が変化してしまって、予め生成した三角メッシュが利用できないので、メッシュ再配置後も再び三角メッシュの再構成が必要となるために計算時間がかかるという問題がある。

このために、上記方法を特にプロセスシミュレーションに適用した場合には、無用な計算時間を費やしてしまうという問題がある。

また、上記方法では、特に、不純物濃度差の大きな領域が複数存在するような場合には、初期三角メッシュの構成によっては、最適なメッシュ点の配置ができないという問題がある。

また、メッシュ点をメッシュ点再配置中に削除しようとする、その度にばね定数を再設定し、かつ、静力学的均衡条件を満たすメッシュ点位置を再計算する必要がある、計算量が増大してしまうという問題がある。このため、メッシュ点再配置中にメッシュ点を削除することは困難であり、必要十分なメッシュ点数で高精度にメッシュを生成することが困難となる。

【0005】

また、上記方法で、任意のメッシュ点を移動不可としたい場合には、メッシュ

点を固定点として指定する等の処理が必要となる。この場合、固定したメッシュ点の特異点となり、静力学的均衡条件を満たすようなメッシュ点の位置を計算するときに、収束性が悪化してしまうという問題がある。また、任意の条件を導入した場合に条件式同士が逆の挙動を示すときは、収束させることが困難となるという問題がある。したがって、上記方法をプロセスシミュレーションに適用することは困難である。

また、上記方法を三次元のシミュレーションに適用しようとする、ドロネー三角分割が破綻しないようにするために、メッシュ点の移動範囲を限定する必要がある、必要十分なメッシュ点の配置が困難となるという問題がある。

また、ドロネー三角分割が破綻した場合には、メッシュを再生成する必要がある、膨大な計算時間を要するという問題がある。ここで、ドロネー三角分割が破綻しても無視する場合は、精度が低下し、必要十分なメッシュ点の配置が困難となるという問題がある。

したがって、上記方法を三次元のシミュレーションに適用することは非現実的である。

【0006】

この発明は、上述の事情に鑑みてなされたもので、特にプロセスシミュレーションに適用して好適で、高速にかつ高精度に最適なメッシュの生成が可能で、かつ、三次元への展開も容易なメッシュ生成方法及びメッシュ生成プログラムを記録した記録媒体を提供することを目的としている。

【0007】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、請求項1記載の発明は、半導体プロセスシミュレーション又は半導体デバイスシミュレーションで用い、メッシュの最適配置を決めるメッシュ生成方法であって、メッシュ点を初期配置するメッシュ点初期配置ステップと、メッシュ点の配置パターンに対応した所定の値をとりメッシュ点の最適配置の達成のための指標として用いられる所定の評価関数の配置パターンに対応した値を算出する評価関数算出ステップと、乱数を発生させる乱数発生ステップと、上記乱数発生ステップで発生した上記乱数に対応した位置へ所定のメッ

シュ点を移動させた場合の上記評価関数の値を算出する再配置時評価関数算出ステップと、上記評価関数算出ステップで算出された上記評価関数の値と、上記再配置時評価関数算出ステップで算出された上記評価関数の値とに基づいて、上記メッシュ点の移動の適合判定を行う適合判定ステップと、上記適合判定ステップで適合していると判定した場合は、上記メッシュ点を移動させてメッシュ点の再配置を行うメッシュ点再配置ステップとを備えたことを特徴としている。

【0008】

また、請求項2記載の発明は、半導体プロセスシミュレーション又は半導体デバイスシミュレーションで用い、メッシュの最適配置を決めるメッシュ生成方法であって、メッシュ点を初期配置するメッシュ点初期配置ステップと、メッシュ点の配置パターンに対応した所定の値をとりメッシュ点の最適配置の達成のための指標として用いられる所定の評価関数の配置パターンに対応した値を算出する評価関数算出ステップと、上記評価関数の値が最適配置状態に近づくような再配置に対応する極値になる方向の所定の位置へ、所定のメッシュ点を移動させた場合の上記評価関数の値を算出する再配置時評価関数算出ステップと、上記評価関数算出ステップで算出された上記評価関数の値と、上記再配置時評価関数算出ステップで算出された上記評価関数の値とに基づいて、上記メッシュ点の移動の適合判定を行う適合判定ステップと、上記適合判定ステップで適合であると判定した場合は、上記メッシュ点を移動させてメッシュ点の再配置を行うメッシュ点再配置ステップとを備えたことを特徴としている。

【0009】

また、請求項3記載の発明は、半導体プロセスシミュレーション又は半導体デバイスシミュレーションで用い、メッシュの最適配置を決めるメッシュ生成方法であって、メッシュ点を初期配置するメッシュ点初期配置ステップと、メッシュ点の配置パターンに対応した所定の値をとりメッシュ点の最適配置の達成のための指標として用いられる所定の評価関数の配置パターンに対応した値を算出する評価関数算出ステップと、所定のメッシュ点を削除した場合の上記評価関数の値を算出する再配置時評価関数算出ステップと、上記評価関数算出ステップで算出された上記評価関数の値と、上記再配置時評価関数算出ステップで算出された上

記評価関数の値とに基づいて、上記メッシュ点の削除の適合判定を行う適合判定ステップと、上記適合判定ステップで適合であると判定した場合は、上記メッシュ点を削除させてメッシュ点の再配置を行うメッシュ点再配置ステップとを備えたことを特徴としている。

【 0 0 1 0 】

また、請求項 4 記載の発明は、半導体プロセスシミュレーション又は半導体デバイスシミュレーションで用い、メッシュの最適配置を決めるメッシュ生成方法であって、メッシュ点を初期配置するメッシュ点初期配置ステップと、メッシュ点の配置パターンに対応した所定の値をとりメッシュ点の最適配置の達成のための指標として用いられる第 1 及び第 2 の評価関数の配置パターンに対応した値を算出する評価関数算出ステップと、第 1 の乱数を発生させる第 1 の乱数発生ステップと、第 2 の乱数を発生させる第 2 の乱数発生ステップと、上記第 1 の乱数に基づいて第 1 の確率で実施され、上記第 2 の乱数発生ステップで発生した上記第 2 の乱数に対応した位置へ所定のメッシュ点を移動させた場合の上記第 1 の評価関数の値を算出する第 1 の再配置時評価関数算出ステップと、上記第 1 の乱数に基づいて第 2 の確率で実施され、上記第 2 の評価関数の値が最適配置状態に近づくような再配置に対応する極値になる方向の所定の位置へ、所定のメッシュ点を移動させた場合の上記第 2 の評価関数の値を算出する第 2 の再配置時評価関数算出ステップと、上記評価関数算出ステップで算出された上記第 1 又は第 2 の評価関数の値と、上記第 1 又は第 2 の再配置時評価関数算出ステップで算出された上記第 1 又は第 2 の評価関数の値とに基づいて、上記メッシュ点の移動の適合判定を行う適合判定ステップと、上記適合判定ステップで適合であると判定した場合は、上記メッシュ点を移動させてメッシュ点の再配置を行うメッシュ点再配置ステップとを備えたことを特徴としている。

【 0 0 1 1 】

また、請求項 5 記載の発明は、請求項 4 記載のメッシュ生成方法であって、メッシュ点を初期配置するメッシュ点初期配置ステップと、メッシュ点の配置パターンに対応した所定の値をとりメッシュ点の最適配置の達成のための指標として用いられる第 1、第 2、及び第 3 の評価関数の配置パターンに対応した値を算出

する評価関数算出ステップと、第 1 の乱数を発生させる第 1 の乱数発生ステップと、第 2 の乱数を発生させる第 2 の乱数発生ステップと、上記第 1 の乱数に基づいた第 1 の確率で実施され、上記第 2 の乱数発生ステップで発生した上記第 2 の乱数に対応した位置へ所定のメッシュ点を移動させた場合の上記第 1 の評価関数の値を算出する第 1 の再配置時評価関数算出ステップと、上記第 1 の乱数に基づいた第 2 の確率で実施され、上記第 2 の評価関数の値が最適配置状態に近づくような再配置に対応する極値になる方向の所定の位置へ、所定のメッシュ点を移動させた場合の上記第 2 の評価関数の値を算出する第 2 の再配置時評価関数算出ステップと、上記第 1 の乱数に基づいた第 3 の確率で実施され、所定のメッシュ点を削除した場合の上記第 3 の評価関数の値を算出する第 3 の再配置時評価関数算出ステップと、上記第 1 又は第 2 の再配置時評価関数算出ステップが実施された場合に、上記評価関数算出ステップで算出された上記第 1 又は第 2 の評価関数の値と、上記第 1 又は第 2 の再配置時評価関数算出ステップで算出された上記第 1 又は第 2 の評価関数の値とに基づいて、上記メッシュ点の移動の適合判定を行うと共に、上記第 3 の再配置時評価関数算出ステップが実施された場合に、上記評価関数算出ステップで算出された上記第 3 の評価関数の値と、上記第 3 の再配置時評価関数算出ステップで算出された上記第 3 の評価関数の値とに基づいて、上記メッシュ点の削除の適合判定を行う適合判定ステップと、上記適合判定ステップで、適合であると判定した場合は、上記メッシュ点を移動させ又は削除してメッシュ点の再配置を行うメッシュ点再配置ステップとを備えたことを特徴としている。

【 0 0 1 2 】

また、請求項 6 記載の発明は、請求項 4 記載のメッシュ生成方法であって、上記第 1 又は第 2 の評価関数は、上記メッシュ点の配置パターンが最適配置状態へ向かって再配置されるのに対応して、上記第 1 又は第 2 の評価関数の値が減少するように予め設定され、上記適合判定ステップで、上記再配置時評価関数算出ステップで算出された上記第 1 又は第 2 の評価関数が、上記評価関数算出ステップで算出された上記第 1 又は第 2 の評価関数の値に対して増加したときは、所定の許可確率で、上記メッシュ点の移動は可であると判定すると共に、上記許可確率

は、メッシュ点の再配置回数の増加と共に徐々に減少するように設定されることを特徴としている。

【 0 0 1 3 】

また、請求項 7 記載の発明は、請求項 6 記載のメッシュ生成方法であって、上記第 1 の確率は、上記再配置回数の増加と共に徐々に減少するように設定されることを特徴としている。

【 0 0 1 4 】

また、請求項 8 記載の発明は、請求項 4， 5， 6 又は 7 記載のメッシュ生成方法であって、半導体装置の製造工程のシミュレーションにおいて実施されることを特徴としている。

【 0 0 1 5 】

また、請求項 9 記載の発明は、請求項 4， 5， 6， 7 又は 8 記載のメッシュ生成方法であって、上記第 2 の再配置時評価関数算出ステップで、上記第 1 又は第 2 の評価関数が最適配置状態に近づくような再配置に対応する極値になる方向は、同一メッシュ点の次回の上記第 2 の再配置時評価関数算出ステップにおける移動時の方向とされることを特徴としている。

【 0 0 1 6 】

また、請求項 1 0 記載の発明は、請求項 4， 5， 6， 7， 8 又は 9 記載のメッシュ生成方法であって、上記第 1 及び第 2 の再配置時評価関数算出ステップでは、所定のメッシュ点の近傍で上記第 1 及び第 2 の評価関数の値を算出することを特徴としている。

【 0 0 1 7 】

また、請求項 1 1 記載の発明は、半導体プロセスシミュレーション又は半導体デバイスシミュレーションで用い、メッシュの最適配置を決めるためのメッシュ生成プログラムを記録した記録媒体であって、メッシュ点を初期配置するメッシュ点初期配置ステップと、メッシュ点の配置パターンに対応した所定の値をとりメッシュ点の最適配置の達成のための指標として用いられる所定の評価関数の配置パターンに対応した値を算出する評価関数算出ステップと、乱数を発生させる乱数発生ステップと、上記乱数発生ステップで発生した上記乱数に対応した位置

へ所定のメッシュ点を移動させた場合の上記評価関数の値を算出する再配置時評価関数算出ステップと、上記評価関数算出ステップで算出された上記評価関数の値と、上記再配置時評価関数算出ステップで算出された上記評価関数の値とに基づいて、上記メッシュ点の移動の適合判定を行う適合判定ステップと、上記適合判定ステップで適合していると判定した場合は、上記メッシュ点を移動させてメッシュ点の再配置を行うメッシュ点再配置ステップとをコンピュータに実行させるプログラムを記録したことを特徴としている。

【 0 0 1 8 】

また、請求項 1 2 記載の発明は、半導体プロセスシミュレーション又は半導体デバイスシミュレーションで用い、メッシュの最適配置を決めるためのメッシュ生成プログラムを記録した記録媒体であって、メッシュ点を初期配置するメッシュ点初期配置ステップと、メッシュ点の配置パターンに対応した所定の値を取りメッシュ点の最適配置の達成のための指標として用いられる所定の評価関数の配置パターンに対応した値を算出する評価関数算出ステップと、上記評価関数の値が最適配置状態に近づくような再配置に対応する極値になる方向の所定の位置へ、所定のメッシュ点を移動させた場合の上記評価関数の値を算出する再配置時評価関数算出ステップと、上記評価関数算出ステップで算出された上記評価関数の値と、上記再配置時評価関数算出ステップで算出された上記評価関数の値とに基づいて、上記メッシュ点の移動の適合判定を行う適合判定ステップと、上記適合判定ステップで適合であると判定した場合は、上記メッシュ点を移動させてメッシュ点の再配置を行うメッシュ点再配置ステップとをコンピュータに実行させるプログラムを記録したことを特徴としている。

【 0 0 1 9 】

また、請求項 1 3 記載の発明は、半導体プロセスシミュレーション又は半導体デバイスシミュレーションで用い、メッシュの最適配置を決めるためのメッシュ生成プログラムを記録した記録媒体であって、メッシュ点を初期配置するメッシュ点初期配置ステップと、メッシュ点の配置パターンに対応した所定の値を取りメッシュ点の最適配置の達成のための指標として用いられる所定の評価関数の配置パターンに対応した値を算出する評価関数算出ステップと、所定のメッシュ点

を削除した場合の上記評価関数の値を算出する再配置時評価関数算出ステップと、上記評価関数算出ステップで算出された上記評価関数の値と、上記再配置時評価関数算出ステップで算出された上記評価関数の値とに基づいて、上記メッシュ点の削除の適合判定を行う適合判定ステップと、上記適合判定ステップで適合であると判定した場合は、上記メッシュ点を削除させてメッシュ点の再配置を行うメッシュ点再配置ステップとをコンピュータに実行させるプログラムを記録したことを特徴としている。

【 0 0 2 0 】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して、この発明の実施の形態について説明する。説明は、実施例を用いて具体的に行う。

◇第 1 実施例

図 1 は、この発明の第 1 実施例である適合メッシュ生成方法を説明するためのフローチャート、図 2 は、同適合メッシュ生成方法における移動可否判定方法を説明するためのフローチャート、図 3 は、この例に係る適合メッシュ生成処理プログラムの構成を示すブロック図、図 4 は、この例に係るシミュレーション装置の構成を示すブロック図、図 5 は、シミュレーション対象の製造途中の半導体デバイスにおける初期メッシュ点配置状態を模式的に示す図、また、図 6 は、この例の適合メッシュ点配置状態を模式的に示す図である。

この例のシミュレーション装置 1 は、プロセスシミュレーションを行うための大型コンピュータやワークステーションからなり、図 4 に示すように、所定の制御プログラムに従って構成各部を制御する CPU 1 1 と、CPU 1 1 が実行する制御プログラムが格納された ROM 1 2 と、CPU 1 1 の作業エリアとしての RAM 1 3 と、所定のデータや処理プログラムが格納されたハードディスク記憶装置 1 4 と、キーボード等からなる入力装置 1 5 と、表示装置 1 6 と、シミュレーションの結果を出力する出力装置 1 7 とを有している。

【 0 0 2 1 】

ハードディスク記憶装置 1 4 は、各種データや適合メッシュ生成処理プログラム等の各種処理プログラムが格納されている。

また、ハードディスク記憶装置 14 には、各プロセスのプロセス条件が、データベース化されて記憶され、また、それまでに実行された各プロセスのシミュレーションの結果がメッシュ情報として記憶されている。

新しい適合メッシュを生成する際には、以前のプロセスのプロセス条件を基に、シミュレーション対象の今回のプロセスに最適なプロセス条件（例えば、移動不可能な領域や移動方向限定の領域の設定、メッシュ点を高密度又は低密度に配置する領域の設定）をデータベースから検索する。

適合メッシュ生成処理プログラムには、例えば金属を高温から低温へ徐々に冷却する「焼きなまし（アニーリング）」からの類比によるアニーリング法によって、メッシュ点の最適配置を見い出して適合メッシュを生成するための手順が記述されている。

このアニーリング法は、上述した「焼きなまし」の過程でのエネルギーに対応する評価関数 F を、原則として最小化するようにメッシュ点の再配置を多数回繰り返す過程で、ボルツマンの確率分布に対応し式（1）で与えられる許可確率 r で、最小化に逆行する再配置も許可するものである。この評価関数 F は、例えば、メッシュ点の配置パターンに対応した所定の値をとり、メッシュ点の最適配置の達成のための指標として用いられる。

【0022】

【数 1】

$$r = \exp(-\Delta F/t) \quad \dots (1)$$

【0023】

但し、 ΔF は、評価関数 F の再配置の前後の変化量、 t は、「焼きなまし」の過程での温度に対応するパラメータとしての判定条件値である。

ここで、確率 r は、「焼きなまし」の過程での時間に対応する再配置の試行回数の増加と共に、判定条件値 t の変更によって減少するように設定される。

適合メッシュ生成処理プログラムは、後述するように、全領域又は局所的領域で評価関数 F を算出する評価関数算出処理プログラム P6 や、移動対象のメッシュ点を、評価関数が局所的に極小値になる方向へ移動させる方法か、乱数によって移動先を選ぶ方法かで移動させるための移動方法選択処理プログラム P10、評

価関数の最小化に逆行する再配置も所定の確率で許可するための移動可否判定処理プログラム P13 を含んでいる。

【 0 0 2 4 】

次に、図 1 乃至図 3、図 5、及び図 6 を参照して、この例の適合メッシュ生成方法について説明する。

この例では、ゲート酸化後のプロセスについて述べる。

また、評価関数算出処理プログラム P6 では、式 (2) で与えられる評価関数 F1 を用いる。

【 0 0 2 5 】

【数 2】

$$F1 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{\min \{ \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \}} + Q_i \right] \quad \dots (2)$$

【 0 0 2 6 】

但し、n は、評価関数 F1 算出の際の対象とするメッシュ点の数、 (x_i, y_i) は、番号 i のメッシュ点 M_i の座標であり、メッシュ点 M_j ($j \neq i$) は、メッシュ点 M_i の近傍の任意の点である。また、 Q_i は、プロセス条件により、所定のメッシュ点 M_i に対して与えられるペナルティ値である。

この評価関数 F1 を最小化するようなメッシュ点配置は、メッシュ点間距離が均一化されたものとなる。

まず、初期メッシュ点配置処理プログラム P1 を実行する (ステップ S T 1 1)。この処理では、予め記憶しておいた直前のプロセスのシミュレーションで生成した適合メッシュ情報に基づいて、今回のシミュレーション対象のプロセスの初期メッシュ点座標値としての情報を適合メッシュ生成用の配列に転送する。この際、高速検索が可能なハッシュテーブルを使用する。

【 0 0 2 7 】

また、上述したメッシュ情報は、不純物濃度演算処理プログラム P2 で、例えば所定の位置における不純物濃度を求める際に用いられる。

例えば、図 5 に示すように、初期メッシュ点配置がなされる。同図は、製造途

中の半導体デバイス 2 において、シリコン基板 2 1 上にゲート電極 2 3 がゲート酸化膜 2 2 を介して形成され、不純物導入（例えばイオン注入）前の状態を示している。

ここで、例えばメッシュ点 M の大部分は、移動可能なメッシュ点としてメッシュ点配置対象領域の中央部に配置され、ゲート直下領域の少数のメッシュ点は、移動不可能に設定される。これによって、不純物補間によるプロファイル変動を抑制する。

【 0 0 2 8 】

次に、ペナルティ設定処理プログラム P 3 を実行する（ステップ S T 1 2）。この処理では、プロセス条件データベース Pa のデータを参照して、ゲート直下の所定の領域のメッシュ点 M については、その移動に対して評価関数 F 1 の値が高くなるペナルティ値 Q を設定する。

次に、初期設定処理プログラム P 4 を実行する（ステップ S T 1 3）。この処理では、まず、評価関数算出処理プログラム P 6 において、式（2）を用いて、メッシュ点 M を配置する全領域について、すなわち、 n をメッシュ点総数 n_0 として、評価関数 F 10 を求める。この評価関数 F 10 は、規格化用の係数として、必要に応じて用いる。

【 0 0 2 9 】

次に、パラメータとしての判定条件値 t を求める。判定条件値 t は、少なくとも後述する指定試行回数分の再配置処理の間は一定の値とされ、ステップ S T 1 3 からステップ S T 2 4 までの再配置処理が繰り返し実行されるのに伴って、高い値から低い値へ徐々に減少するように、また、例えばプロセス条件に応じて所定の計算精度や収束の速さが得られるように設定される。

また、試行回数設定処理プログラム P 5 では、後述するステップ S T 1 4 からステップ S T 2 2 までの再配置処理が実行される反復回数である指定試行回数を求めておく。試行回数設定処理プログラム P 5 では、プロセス条件データベース Pa のデータに基づいて、適切な指定試行回数を設定する。この指定試行回数は、例えば全メッシュ点数の 5 ～ 1 倍の範囲で設定される。

さらに、乱数変調処理プログラム P 9 で用いる乱数メッシュ選択確率を求める

。乱数メッシュ選択確率は、判定条件値 t の値に対応させて、高い値から低い値へ徐々に減少するように設定される。

ステップ S T 1 4 では、変更メッシュ点選択処理プログラム P 7 を実行する。この処理では、乱数発生処理プログラム P 8 で発生した乱数に基づいて、移動させるメッシュ点を選択する。

【 0 0 3 0 】

次に、乱数変調処理プログラム P 9 を実行する（ステップ S T 1 5 ）。

この処理では、判定条件値 t に対応させて設定し、乱数によってメッシュ点を移動させる乱数メッシュ選択確率に応じて、乱数発生処理プログラム P 8 で発生させ、移動方法の選択（後述するステップ S T 1 6 ）のために用いる乱数を変調する。

この乱数メッシュ選択確率は、移動対象のメッシュ点の移動先を選ぶ際に、評価関数 F 1 が局所的に極小値になる方向へ移動させる方法と、乱数によって移動先を選ぶ方法とのうち、後者の方法によって移動させる確率であり、初期値は例えば 9 0 % とされる。この値は、判定条件値 t の減少とともに、例えば 1 0 % ままで減少するように設定される。

【 0 0 3 1 】

このように乱数メッシュ選択確率を設定することにより、メッシュ点再配置の初期には、広範囲に移動させる確率を高め、メッシュ点配置状態が所定の状態に大凡落ち着いて完成に近づくと、局所的に移動させて微調整としての再配置を行う確率を高めることとなる。

次に、メッシュ点移動方法選択処理プログラム P 10 を実行する（ステップ S T 1 6 ）。

この処理では、メッシュ点の移動先を決めるに当たって、2 つの移動方法のうちのいずれかの方法を、乱数を用いて選択する。すなわち、一方の移動方法は、評価関数 F 1 が局所的に極小値になる方向へ移動させる方法であり、他方の移動方法は、移動先の座標を乱数のみで決定する方法である。

次に、ステップ S T 1 7 で、乱数によって移動先を選ぶ方法をとったか否か判断し、評価関数 F 1 が局所的に極小値になる方向へ移動させる方法をとった場合

は、ステップ S T 1 8 へ進み、乱数によって移動先を選ぶ方法をとった場合は、ステップ S T 1 9 へ進む。

【 0 0 3 2 】

ステップ S T 1 8 では、移動方向設定処理プログラム P 11 を実行する。

この処理では、局所的に評価関数 F 1 が極小値になる方向へメッシュ点を移動させる。この際、予め記憶しておいた同一のメッシュ点を移動させたときの前回の方向を採用する。このメッシュ点を初めて評価関数 F 1 が局所的に極小値になる方向へ移動させる方法で移動させる場合は、評価関数 F 1 の値をこのメッシュ点近傍の局所的領域で繰り返し算出して、評価関数 F 1 が極小値になる方向を求める。この後、ステップ S T 2 0 へ進む。

また、移動距離は、局所的領域で定め、発生させた乱数によって設定する。

ステップ S T 1 9 では、移動位置設定処理プログラム P 12 を実行する。

この処理では、乱数によってメッシュ点の移動先の座標を選ぶ。この後、ステップ S T 2 0 へ進む。

【 0 0 3 3 】

ステップ S T 2 0 では、移動可否判定処理プログラム P 13 を実行する。

この処理では、ステップ S T 1 8 又はステップ S T 1 9 で選択した移動先へのメッシュ点の移動を許可するか否か判定する。

まず、評価関数算出処理プログラム P 6 で、評価関数 F 1 の移動前後の値を移動したメッシュ点近傍で算出し、この算出結果に基づいて、評価関数 F 1 の移動前後の変化分 $\Delta F 1$ を算出する（ステップ S T 2 0 1）。

次に、変化分 $\Delta F 1$ が負であるか否か判断する（ステップ S T 2 0 2）。

変化分 $\Delta F 1$ が負である場合は、このメッシュ点の移動を無条件で許可する（ステップ S T 2 0 3）。

一方、変化分 $\Delta F 1$ が負でない場合は、式（3）で与えられる所定の許可確率 $r 1$ で移動を許可する（ステップ S T 2 0 4）。

また、このときのメッシュ点移動方向を次回の移動方向として記憶させておく（ステップ S T 2 0 5）。

【 0 0 3 4 】

【数 3】

$$r1 = \exp(-\Delta F1/t) \quad \dots (3)$$

【 0 0 3 5】

ここで、評価関数 F1 が増加しても所定の許可確率 r1 でメッシュ点を移動させることにより、例えば全領域で求めた評価関数 F1 が最小値ではない極小値へ向かうように、メッシュ点の再配置が進行している場合であっても、この状態から抜け出して評価関数 F1 を最小化するように再配置を行うように促す可能性が与えられることとなる。

また、上述したように、判定条件値 t をメッシュ点再配置の試行回数と共に徐々に減少させ、これに伴って許可確率 r1 も徐々に減少していくので、円滑に最適な再配置が達成される。

次に、メッシュ点の移動が許可されたか否か判断する（ステップ S T 2 1）。ここで、移動が許可された場合はステップ S T 2 2 へ進み、移動が許可されなかった場合はステップ S T 2 3 へ進む。

【 0 0 3 6】

ステップ S T 2 2 では、メッシュ点移動処理プログラム P14 を実行する。この処理では、ステップ S T 1 8 又はステップ S T 1 9 で選択した移動先へのメッシュ点を移動させる。

ステップ S T 2 3 では、メッシュ点再配置の試行回数が、ステップ S T 1 3 で設定した指定試行回数（例えば全メッシュ点数の 5 ～ 1 倍）に達しているか否か判定する。

指定試行回数に達している場合は、ステップ S T 2 4 へ進み、指定試行回数に達していない場合は、ステップ S T 1 4 へ戻って、一連のメッシュ点再配置処理を繰り返す。

【 0 0 3 7】

ステップ S T 2 4 では、アニーリング法終了判定処理プログラム P15 を実行する。

この処理では、全メッシュ点に亘って計算した評価関数 F1 の減少率（ $\Delta F1 / F1$ ）が所定の下限值、例えば 1 % となったならば、メッシュ点の移動（再配置

）を終了するものとする。この減少率の下限値は、要求されるメッシュ点配置精度に応じて設定される。ここで、移動が許可されたメッシュ点数が例えば 0 となった場合に終了するものとしても良い。

次に、ステップ S T 2 5 で、終了と判定したならば、ステップ S T 2 6 へ進み、これ以外の場合は、ステップ S T 1 3 へ戻る。ステップ S T 1 3 では、指定試行回数を更新し、判定条件値 t を変更して、再びメッシュ点を移動させる。

こうして、図 6 に示すように、メッシュ点間の距離が均一とされた適合メッシュ点配置が完成する。

【 0 0 3 8 】

ステップ S T 2 6 では、メッシュ生成処理プログラム P 16 を実行する。この処理では、各メッシュ点を接続し、三角メッシュを生成する。

最後に、ステップ S T 2 7 で、不純物濃度補間処理プログラム P 17 を実行する。この処理では、初期メッシュが保有する各コントロールボリューム（メッシュ点に接続された三角形の外心を結んだ領域）内のメッシュ点で代表した不純物濃度、及びこの初期メッシュのコントロールボリュームの面積と適合メッシュのコントロールボリュームの面積との比に基づいて、各メッシュ点における不純物濃度を設定し、この後、積分補間法を用いて不純物濃度を補間し、新メッシュを完成させる。

【 0 0 3 9 】

このように、この例の構成によれば、メッシュ点配置を最適化した後に、メッシュ生成を行うように構成されているので、適合メッシュを高速にかつ高精度で生成することができる。

また、例えば、ゲート直下の所定の領域のメッシュ点 M については、その移動に対して評価関数 F 1 の値が高くなるペナルティ値 Q を与えて、メッシュ点の再配置を行うように構成したので、この例のように、原則として評価関数 F 1 を最小化するようにメッシュ点を再配置する過程では、ペナルティ値 Q が与えられた移動は起こり難いため、ゲート直下のメッシュ点の移動は回避される。

したがって、ペナルティ値 Q を含んだ上記評価関数 F 1 を最小化することによって、例えば「ゲート直下のメッシュ点を移動させない」といった所定の条件を

満足させつつ、メッシュ点の最適配置を得ることができる。

しかも、プロセス条件データベース Pa のデータを参照して、現在のプロセスに最適な条件を設定するので、プロセスに応じた適合メッシュを高速にかつ高精度で生成することができる。

また、評価関数 $F1$ が増加しても所定の許可確率 $r1$ でメッシュ点を移動させることにより、例えば全領域で求めた評価関数 $F1$ が最小値ではない極小値へ向かうように、メッシュ点の再配置が進行している場合であっても、この状態から抜け出して評価関数 $F1$ を最小化するように再配置を行うように促す可能性を与えることができる。

すなわち、評価関数 $F1$ が前回よりも常に減少するようにメッシュ点の再配置を繰り返していく場合、初期メッシュ点の配置状態によっては、例えば再配置過程の初期に評価関数 $F1$ が極小値となる配置状態を探し出した時点で、この極小値が多数ある極小値の一つであって、最小値ではないときであっても、この極小値を最小値と誤認し、計算処理を停止してしまう可能性がある。

ここで、評価関数 $F1$ が増加する再配置も低い確率ながら許可することによって、別の極小値（最小値を含む）を探し当てる可能性が与えられ、メッシュ点の最適配置が得られることとなる。

【 0 0 4 0 】

また、判定条件値 t はメッシュ点再配置の試行回数と共に徐々に減少させ、これに伴って許可確率 $r1$ も徐々に減少していくので、円滑に最適な再配置を達成することができる。

それ故、厳密な計算によって局所解にとらわれたり、収束し難くなる条件下であっても、精度の高い適合メッシュを生成することができる。

かつ、このアニーリング法の採用によって、メッシュ点を局所的に再配置することが容易となる。

したがって、メッシュ点の再配置が局所的な場合や変化量が小さい場合は、特に高速に適合メッシュを生成することができる。

例えば、プロセスシミュレーションにおいては、プロセス間の不純物濃度の変化が局所的であることが多く、移動すべきメッシュ点数が少ないので、プロセス

シミュレーションに適用することによって、一段と高速に適合メッシュを生成することができる。

【 0 0 4 1 】

また、メッシュ点の移動先を決めるに当たって、評価関数 $F1$ が局所的に極小値になる方向へ移動させる方法と、乱数によって移動先を選ぶ方法とのうち、いずれかの方法を選択するものとし、乱数メッシュ選択確率は、判定条件値 ϵ の変化に対応させて、徐々に減少するように設定されるので、メッシュ点再配置の初期には、広範囲に移動させる確率を高め、完成に近づくとき局所的に移動させて再配置を行う確率を高めることとなるため、一段と精度の高い適合メッシュを生成することができる。

また、局所的に評価関数 $F1$ が極小値になる方向へメッシュ点を移動させる場合には、2 回目以降は、予め記憶しておいた同一のメッシュ点を移動させたときの前回の方向を採用するので、高速に再配置を行うことができる。

また、メッシュを生成することなく、各メッシュ点における情報（例えばメッシュ点の座標値、不純物濃度）のみでメッシュ点の再配置を行うことができるので、高速に適合メッシュを生成することができる。

【 0 0 4 2 】

◇ 第 2 実施例

図 7 は、この発明の第 2 実施例である適合メッシュ生成方法における移動可否判定方法を説明するためのフローチャート、図 8 は、この例のシミュレーション対象の製造途中の半導体デバイスにおける初期メッシュ点配置状態を模式的に示す図、また、図 9 は、この例の適合メッシュ点配置状態を模式的に示す図である。

この例が上述した第 1 実施例と異なるところは、評価関数 $F1$ に対応した評価関数 $f1$ に加えて、式 (4) で与えられ不純物濃度勾配に関する評価関数 $F2$ に対応する評価関数 $f2$ を用いて、メッシュ点再配置の可否の判定を行うと共に、局所的に評価関数が極小値になる方向へメッシュ点を移動させる場合の次の移動方向を設定するときに、移動の前後で評価関数 $f1$ と評価関数 $f2$ とのうち移動の前後で減少量が多い方を選別し、この評価関数が局所的に極小値になる方向を

次回の移動方向とするように構成した点である。

【 0 0 4 3 】

【数 4】

$$F2 = \sum_{i=1}^n \max(|c_i - c_j|) \quad \dots (4)$$

【 0 0 4 4 】

但し、 C_i は、番号 i のメッシュ点 M_i における不純物濃度、 C_j は、メッシュ点 M_i 近傍のメッシュ点 M_j における不純物濃度である。

この評価関数 $F2$ を小さくするようなメッシュ点配置は、近接メッシュ点間の不純物濃度差が小さくされた配置となり、評価関数 $F1$ との組み合わせ、例えば $(F1 + F2)$ を最小化することによって、近接メッシュ点間の濃度差を均一化するメッシュ点配置が得られる。

また、評価関数算出処理プログラム $P6$ は、評価関数 $F1 (f1)$ 、 $F2 (f2)$ 、変化分 $\Delta (f1 + f2)$ の算出と、減少量の大きい方の評価関数を選択する処理手順を含んでいる。

【 0 0 4 5 】

次に、図 1、図 7、図 8 及び図 9 を参照して、この例の適合メッシュ生成方法について、移動方向設定方法と移動可否判定方法を中心として説明する。

この例では、初期メッシュ点配置は、図 8 に示すようになされる。

ここで、例えばメッシュ点 M の大部分は、移動可能なメッシュ点としてメッシュ点配置対象領域の四隅部に配置され、ゲート直下領域の少数のメッシュ点は、移動不可能に設定される。この例では、同図に示すように、メッシュ点 M を配置する全領域において、例えば、等濃度線 $R1, R2, \dots, R17$ 上の不純物濃度 $D1, D2, \dots, D17$ が、 $(D1 (= D17) > D2 (= D16) > D3 (= D15) > D4 (= D14) > D5 (= D13) > D6 (= D12) > D7 (= D11) > D8 (= D10) > D9)$ となるように、不純物濃度は連続的に変化するように設定され、不純物濃度勾配は、左上隅部と右下隅部とで極大となるように設定されている。

ステップ $ST13$ では、メッシュ点 M を配置する全領域について、評価関数 $F10$ 、評価関数 $F20$ を算出して正規化係数として用い、以後の計算処理においては

、式(2)及び式(4)で求めた評価関数F1及び評価関数F2に代えて、式(5)及び式(6)によって与えられる評価関数f1及び評価関数f2を用いる。

【0046】

【数5】

$$f1 = F1/F10 \quad \dots (5)$$

【0047】

【数6】

$$f2 = F2/F20 \quad \dots (6)$$

【0048】

また、ステップST18では、移動方向設定処理プログラムP11を実行する。

この処理では、局所的に評価関数f1又は評価関数f2が極小値になる方向へメッシュ点を移動させる。この際、予め記憶しておいた同一のメッシュ点を移動させたときの前回の方向を採用する。このメッシュ点を初めて評価関数f1又は評価関数f2が局所的に極小値になる方向へ移動させる方法で移動させる場合は、評価関数f1及び評価関数f2をこのメッシュ点近傍の局所的領域で繰り返し算出して、評価関数f1又は評価関数f2が最も減少する方向を求める。この後、ステップST20へ進む。

【0049】

また、移動距離は、局所的領域で定め、発生させた乱数によって設定する。

ステップST19では、移動位置設定処理プログラムP12を実行する。

この処理では、乱数によってメッシュ点の移動先の座標を選ぶ。この後、ステップST20へ進む。

ステップST20では、移動可否判定処理プログラムP13を実行する。

この処理では、ステップST18又はステップST19で選択した移動先へのメッシュ点の移動を許可するか否かを判定する。

まず、評価関数算出処理プログラムP6で、評価関数f1、f2の移動前後の値を移動したメッシュ点近傍で算出し、評価関数f1、f2の和(f1+f2)の移動

前後の変化分 $\Delta(f_1 + f_2)$ を算出する (ステップ ST207)。

【0050】

次に、変化分 $\Delta(f_1 + f_2)$ が負であるか否か判断する (ステップ ST208)。

変化分 $\Delta(f_1 + f_2)$ が負である場合は、このメッシュ点の移動を無条件で許可する (ステップ ST209)。

一方、変化分 $\Delta(f_1 + f_2)$ が負でない場合は、式 (7) で与えられる所定の許可確率 r_2 で移動を許可する (ステップ ST210)。

【0051】

【数 7】

$$r_2 = \exp\{-\Delta(f_1 + f_2)/t\} \quad \dots (7)$$

【0052】

次に、変化分 Δf_1 , Δf_2 が小さい方 (例えば変化分 Δf_1 , Δf_2 が共に負の場合は、絶対値 $|\Delta f_1|$, $|\Delta f_2|$ が大きい方) の評価関数 f_1 又は評価関数 f_2 が極小値になる方向を求め、評価関数 f_1 又は評価関数 f_2 が局所的に極小値になる方向へ移動させる方法でメッシュ点を移動させる場合の次の移動方向として記憶させておく (ステップ ST211)。

ステップ ST25 で、終了と判定されると、図 9 に示すように、近接メッシュ点間の不純物濃度差が均一とされた適合メッシュ点配置が完成する。

【0053】

この例の構成によれば、第 1 実施例で述べたのと略同一の効果を得ることができる。

加えて、2つの評価関数 f_1 , f_2 を組み合わせて、2つの条件を同時に満たすように、高精度に適合メッシュを生成することができる。すなわち、メッシュ点間距離を均一化するための評価関数 f_1 と近接メッシュ点間の不純物濃度差を小さくするための評価関数 f_2 とを組み合わせて、例えば $(f_1 + f_2)$ を最小化することによって、近接メッシュ点間の濃度差が均一化された適合メッシュを高精度に生成することができる。

また、局所的に評価関数が極小値になる方向へメッシュ点を移動させる場合の次の移動方向を設定するときに、評価関数 f_1 と評価関数 f_2 とのうち移動の前後で減少量が多い方を選別し、この評価関数が局所的に極小値になる方向を次の移動方向とするように構成したので、メッシュ点の最適配置状態へ向けて高速に再配置を行うことができる。

【0054】

◇第3実施例

図10は、この発明の第3実施例である適合メッシュ生成方法を説明するためのフローチャート、図11は、同適合メッシュ生成方法における変更可否判定方法を説明するためのフローチャート、図12は、この例に係る適合メッシュ生成処理プログラムの構成を示すブロック図、図13は、この例のシミュレーション対象の製造途中の半導体デバイスにおける初期メッシュ点配置状態を模式的に示す図、また、図14は、この例の適合メッシュ点配置状態を模式的に示す図である。

この例が上述した第2実施例と異なるところは、メッシュ点の移動に加えて、式(8)で与えられる評価関数 F_3 に対応する評価関数 f_3 に基づいてメッシュ点の削除を可能とした点と、局所的に評価関数が極小値になる方向へメッシュ点を移動させる場合の次の移動方向を設定するときに、移動の前後で評価関数 f_1 と評価関数 f_2 と評価関数 f_3 とのうち移動の前後で減少量が多い方を選別し、この評価関数が局所的に極小値になる方向を次の移動方向とするように構成した点である。

【0055】

【数8】

$$F_3 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\min(|c_i - c_j|)} \quad \dots (8)$$

【0056】

但し、 C_j は、メッシュ点 M_i からの距離が最小の番号 j ($j \neq i$) のメッシュ点 M_j における不純物濃度である。

この評価関数 F_3 は、最近接メッシュ点同士が同一の不純物濃度の場合に極大

となり、同一濃度のメッシュ点の削除によって小さくなる。したがって、近接メッシュ点同士で不純物濃度差が微小である場合は、この評価関数 $F3$ の値に基づいてこのメッシュ点を削除することによって、余分なメッシュ点が除外された最適メッシュ点配置が得られる。

適合メッシュ生成処理プログラムは、選択したメッシュ点の削除を行う削除処理プログラム P31 を含んでいる。また、移動可否判定処理プログラム P13 は、評価関数 $f3$ の値に基づく削除可否判定を加えた変更可否判定処理プログラム P33 に変更されている。

また、メッシュ点変更方法選択処理プログラム P30 は、評価関数 $f1$ 又は評価関数 $f2$ が局所的に減少する方向へ移動させるか、乱数によって移動させるか、削除するかのうち、いずれかを選択する手順を含んでいる。

また、評価関数算出処理プログラム P6 は、評価関数 $F1(f1)$ 、 $F2(f2)$ 、 $F3(f3)$ 、変化分 $\Delta(f1+f2+f3)$ の算出と、最も減少した評価関数を選択する処理手順を含んでいる。

【0057】

次に、図 10 乃至図 14 を参照して、この例の適合メッシュ生成方法について説明する。

まず、初期メッシュ点配置処理プログラム P1 を実行する（ステップ ST31）。ここで、図 13 に示すように、初期メッシュ点配置がなされる。メッシュ点 M の大部分は、移動可能なメッシュ点としてメッシュ点配置対象領域の両側部に配置され、ゲート直下領域の少数のメッシュ点は、移動不可能に設定される。この例では、同図に示すように、メッシュ点 M を配置する全領域において、例えば、等濃度線 $R21$ 、 $R22$ 、 \dots 、 $R29$ 上の不純物濃度 $D21$ 、 $D22$ 、 \dots 、 $D29$ が、 $(D21 > D22 > D23 > D24 > D25 > D26 > D27 > D28 > D29)$ となるように、不純物濃度は一次元的に連続的に変化するように設定され、不純物濃度は表面付近で極大となるように設定されている。

【0058】

次に、ペナルティ設定処理プログラム P3 を実行する（ステップ ST32）。

こ

の処理では、プロセス条件データベースPaのデータを参照して、ゲート直下の所定の領域のメッシュ点Mについては、その移動に対して評価関数F1の値が高くなるペナルティ値Qを設定する。

次に、初期設定処理プログラムP4を実行する（ステップST33）。この処理では、まず、評価関数算出処理プログラムP6において、式（2）、式（4）、及び式（8）を用いて、メッシュ点Mを配置する全領域について、すなわち、 n をメッシュ点総数 n_0 として、評価関数F10、評価関数F20、評価関数F30を求め、正規化用の係数として用いる。

すなわち、以後の計算処理においては、式（2）、式（4）、及び式（8）で求めた評価関数F1、評価関数F2、及び評価関数F3に代えて、式（5）、式（6）、及び式（9）によって与えられる評価関数f1、評価関数f2、及び評価関数f3を用いる。

【0059】

【数9】

$$f3 = F3 / F30 \quad \dots (9)$$

【0060】

ここで、判定条件値 t 、指定試行回数、乱数によってメッシュ点を移動させる乱数メッシュ選択確率、及びメッシュ点を削除する削除選択確率を求める。

次に、変更メッシュ点選択処理プログラムP7を実行する（ステップST34）。この処理では、乱数発生処理プログラムP8で発生した乱数に基づいて、移動又は削除させるメッシュ点を選択する。

次に、乱数変調処理プログラムP9（ステップST35）を実行する。

この処理では、設定した乱数メッシュ選択確率及び削除選択確率に応じて、乱数発生処理プログラムP8で発生させ、移動方法の選択のために用いる乱数を変調する。

【0061】

乱数メッシュ選択確率、削除選択確率の初期値は、例えば90%、1%とされ、評価関数f1又は評価関数f2が局所的に極小値になる方向へ移動させる方法を選択する確率の初期値は9%とされる。

次に、メッシュ点変更方法選択処理プログラム P 30 を実行する（ステップ S T 3 6 ）。

この処理では、乱数を用いて、評価関数 f_1 又は評価関数 f_2 が局所的に極小値になる方向へ移動させる方法と、乱数によって移動先を選ぶ方法と、メッシュ点を削除する方法のうち、いずれかの方法を選択する。

【 0 0 6 2 】

次に、ステップ S T 5 1 で、メッシュ点を移動させる方法を選んだか否かを判断する。

移動を選択した場合は、ステップ S T 3 7 へ進み、削除を選択した場合はステップ S T 5 2 へ進む。

次に、ステップ S T 3 7 で、乱数によって移動先を選ぶ方法をとったか否か判断し、評価関数 f_1 又は評価関数 f_2 が局所的に極小値になる方向へ移動させる方法をとった場合は、ステップ S T 3 8 へ進み、乱数によって移動先を選ぶ方法をとった場合は、ステップ S T 3 9 へ進む。

ステップ S T 3 8 では、移動方向設定処理プログラム P 11 を実行する。

この処理では、局所的に評価関数 f_1 又は評価関数 f_2 が極小値になる方向へメッシュ点を移動させる。この際、予め記憶しておいた同一のメッシュ点を移動させたときの前回の方向を採用する。

このメッシュ点を初めて評価関数 f_1 又は評価関数 f_2 が局所的に極小値になる方向へ移動させる方法で移動させる場合は、評価関数 f_1 及び評価関数 f_2 をこのメッシュ点近傍の局所的領域で繰り返し算出して、評価関数 f_1 又は評価関数 f_2 が最も減少する方向を求める。

また、移動距離は、局所的領域で定め、発生させた乱数によって設定する。この後、ステップ S T 4 0 へ進む。

【 0 0 6 3 】

ステップ S T 3 9 では、移動位置設定処理プログラム P 12 を実行する。

この処理では、乱数によってメッシュ点の移動先の座標を選ぶ。この後、ステップ S T 4 0 へ進む。

ステップ S T 5 2 では、削除処理プログラム P 31 を実行する。この処理では、

ステップ S T 3 4 で選択したメッシュ点を削除する。この後、ステップ S T 4 0 へ進む。

【 0 0 6 4 】

ステップ S T 4 0 では、変更可否判定処理プログラム P 33 を実行する。

この処理では、ステップ S T 3 8 又はステップ S T 3 9 で選択した移動先へのメッシュ点の移動を許可するか否か、又はメッシュ点の削除を許可するか否かを判定する。

まず、移動の許可か否かを判断し（ステップ S T 4 0 1）、移動の許可である場合は、ステップ S T 4 0 2 へ進み、削除の許可である場合は、ステップ S T 4 0 3 へ進む。

ステップ S T 4 0 2 では、まず、評価関数算出処理プログラム P 6 で、評価関数 f_1 , f_2 , f_3 の和 $(f_1 + f_2 + f_3)$ の移動前後の値を移動したメッシュ点近傍で算出し、 $(f_1 + f_2 + f_3)$ の移動前後の変化分 $\Delta (f_1 + f_2 + f_3)$ を算出する。

次に、変化分 $\Delta (f_1 + f_2 + f_3)$ が負であるか否か判断する（ステップ S T 4 0 4）。

変化分 $\Delta (f_1 + f_2 + f_3)$ が負である場合は、このメッシュ点の移動を無条件で許可する（ステップ S T 4 0 5）。

一方、変化分 $\Delta (f_1 + f_2 + f_3)$ が負でない場合は、式（7）で与えられる所定の許可確率 r_2 で移動を許可する（ステップ S T 4 0 6）。

【 0 0 6 5 】

一方、ステップ S T 4 0 3 では、評価関数算出処理プログラム P 6 で、評価関数 f_1 , f_2 , f_3 の和 $(f_1 + f_2 + f_3)$ の削除前後の値を削除したメッシュ点近傍で算出し、この算出結果に基づいて、 $\Delta (f_1 + f_2 + f_3)$ の値を算出する。

次に、変化分 $\Delta (f_1 + f_2 + f_3)$ が負であるか否か判断する（ステップ S T 4 0 7）。

変化分 $\Delta (f_1 + f_2 + f_3)$ が負である場合は、このメッシュ点の削除を無条件で許可する（ステップ S T 4 0 8）。

一方、変化分 $\Delta (f_1 + f_2 + f_3)$ が負でない場合は、式（10）で与えられ

る所定の許可確率 r_3 で移動を許可する（ステップ S T 4 0 9）。

【0066】

【数10】

$$r_3 = \exp(-\Delta f_3/t) \quad \dots (10)$$

【0067】

次に、変化分 Δf_1 , Δf_2 , Δf_3 のうち、減少量の最も大きい評価関数 f_1 、評価関数 f_2 、又は評価関数 f_3 が極小値になる方向を求め、評価関数 f_1 又は評価関数 f_2 が局所的に極小値になる方向へ移動させる方法でメッシュ点を移動させる場合の次の移動方向として記憶させておく（ステップ S T 4 1 0）。

次に、メッシュ点の変更（移動又は削除）が許可されたか否か判断する（ステップ S T 4 1）。ここで、変更（移動又は削除）が許可された場合はステップ S T 4 2 へ進み、許可されなかった場合はステップ S T 4 3 へ進む。

ステップ S T 4 2 では、メッシュ点変更処理プログラム P 34 を実行する。この処理では、選択した移動先へのメッシュ点の移動又は削除を実行する。

ステップ S T 4 3 では、メッシュ点再配置の試行回数が、ステップ S T 4 1 で設定した指定試行回数に達しているか否か判定する。

指定試行回数に達している場合は、ステップ S T 4 4 へ進み、指定試行回数に達していない場合は、ステップ S T 3 4 へ戻って、一連のメッシュ点再配置処理を繰り返す。

【0068】

ステップ S T 4 4 では、アニーリング法終了判定処理プログラム P 15 を実行する。

この処理では、全メッシュ点に亘って計算した $(f_1 + f_2)$ の減少率 $\{\Delta(f_1 + f_2) / (f_1 + f_2)\}$ が所定の下限值、例えば 1 % となったならば、メッシュ点の移動（再配置）を終了するものとする。

次に、ステップ S T 4 5 で、終了と判定したならば、ステップ S T 4 6 へ進み、これ以外の場合は、ステップ S T 3 3 へ戻る。ステップ S T 3 3 では、指定試行回数を更新し、判定条件値 t を変更して、再びメッシュ点を移動させる。

こうして、図 14 に示すように、同一の不純物濃度のメッシュ点同士が、異な

る不純物濃度のメッシュ点同士の最小距離以下には、存在しないように移動又は削除され、適合メッシュ点配置が完成する。

ステップ S T 4 6 では、メッシュ生成処理プログラム P 16 を実行する。この処理では、各メッシュ点を接続し、三角メッシュを生成する。

最後に、ステップ S T 4 7 で、不純物濃度補間処理プログラム P 17 を実行する。この処理では、不純物濃度を補間し、新メッシュを完成させる。

【 0 0 6 9 】

この例の構成によれば、第 2 実施例で述べたのと略同一の効果を得ることができる。

加えて、ステップ S T 3 6 では、メッシュ点変更方法として所定の削除選択確率でメッシュ点を削除する方法が選択され、ステップ S T 4 0 で削除可の判定がなされれば、ステップ S T 4 2 において、このまま容易に削除されるので、所定の計算精度を確保するためのメッシュ点配置を得ると共に、メッシュ点数を必要最小限に抑えて、計算速度を高速にする適合メッシュを生成することができる。

【 0 0 7 0 】

◇第 4 実施例

図 1 5 は、この発明の第 4 実施例である適合メッシュ生成方法を説明するためのフローチャート、また、図 1 6 は、この例に係る適合メッシュ生成処理プログラムの構成を示すブロック図である。

この例が上述した第 1 実施例と異なるところは、メッシュ点の移動方法として、乱数による移動に限定し、指定試行回数をメッシュ点数と略同一とした点である。

これに伴い、図 1 6 に示すように、適合メッシュ生成処理プログラムを構成するプログラムのうち、乱数変調処理プログラム P 9、メッシュ点移動方法選択処理プログラム P 10、及び移動方向設定処理プログラム P 11 は省略される。

また、この例の適合メッシュ生成方法においては、図 1 5 に示すように、ステップ S T 1 4 で、乱数発生処理プログラム P 8 で発生した乱数に基づいて、移動させるメッシュ点を選択した後は、第 1 実施例で実行したステップ S T 1 5 からステップ S T 1 8 までの処理を行わず、ステップ S T 1 9 へ進んで、乱数によっ

てメッシュ点の移動先の座標を選ぶものとする。

これ以外は、第 1 実施例と略同一であるので、その説明を省略する。

【 0 0 7 1 】

この例の構成によれば、メッシュ点を比較的広範囲に移動させる確率が高まり、再配置の回数も低減されるので、一段と高速に適合メッシュを生成することができる。

【 0 0 7 2 】

◇第 5 実施例

図 1 7 は、この発明の第 5 実施例である適合メッシュ生成方法を説明するためのフローチャート、また、図 1 8 は、この例に係る適合メッシュ生成処理プログラムの構成を示すブロック図である。

この例が上述した第 2 実施例と異なるところは、メッシュ点の移動方法として、局所的に評価関数 f_1 又は評価関数 f_2 が減少する方向へメッシュ点を移動させる方法に限定し、指定試行回数をメッシュ点数と略同一とした点である。

これに伴い、図 1 8 に示すように、適合メッシュ生成処理プログラムを構成するプログラムのうち、乱数変調処理プログラム P9、メッシュ点移動方法選択処理プログラム P10、及び移動位置設定処理プログラム P12 は省略される。

また、この例の適合メッシュ生成方法においては、図 1 7 に示すように、ステップ S T 1 4 で、乱数発生処理プログラム P8 で発生した乱数に基づいて、移動させるメッシュ点を選択した後は、第 2 実施例で実行したステップ S T 1 5 からステップ S T 1 7 までとステップ S T 1 9 の処理を行わず、ステップ S T 1 8 へ進んで、局所的に評価関数 f_1 又は評価関数 f_2 が極小値になる方向へメッシュ点を移動させるものものとする。この際、移動距離は、局所的領域で定め、発生させた乱数によって設定する。

これ以外は、第 2 実施例と略同一であるので、その説明を省略する。

【 0 0 7 3 】

この例の構成によれば、不純物濃度の変更が比較的小規模で、メッシュ点配置が初期メッシュ点配置状態から大きな変更を要求されない場合には、一段と高速にしかも高精度で適合メッシュを生成することができる。

【 0 0 7 4 】

以上、この発明の実施例を図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施例に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計の変更等があってもこの発明に含まれる。

例えば、上述の実施例では、プロセスシミュレーションに適用する場合について述べたが、デバイスシミュレーションに適用しても良い。

また、初期メッシュ点配置に際しては、予め記憶した前回のプロセスのメッシュ点配置を用いずに、最初から生成しても良い。

また、移動させるメッシュ点や削除するメッシュ点を選択する際に、1つずつ選択する場合について述べたが、複数のメッシュ点を選択して纏めて処理するようにしてもよい。

また、記憶装置として、ハードディスク記憶装置14に加えて、例えば光磁気ディスク記憶装置を備えるようにしても良いし、これらは、単数であると複数であるとを問わない。

また、例えば、ゲート直下のメッシュ点を移動させないという条件を組み入れるために、ペナルティ値 Q を含んだ評価関数 $f1$ を原則として最小化する場合について述べたが、複数の条件を組み入れるようにしても良い。

【 0 0 7 5 】

また、二次元に限らず、三次元のシミュレーションに適用しても良い。

この場合、初期メッシュの情報として最低限必要な情報は、第1実施例（評価関数として、評価関数 $F1$ を用いる例）では、移動不可能のメッシュ点が配置された領域の境界の座標のみであり、第2実施例（評価関数として、評価関数 $F1(f1)$ 、 $F2(f2)$ を用いる例）及び第3実施例（評価関数として、評価関数 $F1(f1)$ 、 $F2(f2)$ 、 $F3(f3)$ を用いる例）では、上記境界の座標と、各メッシュ点の座標と、各メッシュ点における各不純物種の不純物濃度のみである。このため、メッシュの枝情報及び面情報も必要とする上述した従来技術の場合と比べて、大幅に記憶領域を縮小することができる。

また、メッシュ点の移動や侵入が不可能な領域の設定を容易にできるので、境界近傍のメッシュ生成が困難な領域のメッシュ条件を維持したまま、メッシュ点

の最適化再配置が可能である。

したがって、三次元のシミュレーションへの適用は比較的容易である。

また、例えば第2実施例では、評価関数 f_1 と評価関数 f_2 との和の変化分に基づいて、移動の可否の判定を行う場合について述べたが、これに限らず、両評価関数の積や、両評価関数にその他の演算処理を施した関数の変化分を用いても良い。

【0076】

【発明の効果】

以上説明したように、この発明によれば、メッシュ点配置を最適化した後に、メッシュ生成を行うように構成されているので、メッシュを高速にかつ高精度で生成することができる。

また、適合判定ステップにおいて、評価関数を用いた判定基準を調整し又は変化させることによって、計算時間やメッシュ点配置精度を自在に調整することができる。

また、メッシュ点再配置の反復回数を調整することによって、計算時間やメッシュ点配置精度を自在に調整することができる。

また、メッシュ点を乱数によって移動させて再配置を行うことによって、メッシュ点を比較的広範囲に移動させる確率が高まり、高速にメッシュを生成することができる。

また、例えば評価関数が最適配置状態に近づくような再配置に対応する極値になる方向の位置へ、メッシュ点を移動させて再配置を行うことによって、特に初期のメッシュ点の配置状態から比較的微小量変化させる場合には、高速にしかも高精度にメッシュを生成することができる。

また、メッシュ点を削除して再配置を行うことによって、必要十分な数のメッシュ点を配置したメッシュを高精度に生成することができる。

【0077】

また、第1の確率でメッシュ点を乱数によって移動させて再配置を行い、第2の確率でメッシュ点を評価関数が例えば局所的に最適配置状態へ向けて変化するように移動させて再配置を行うように選択することによって、例えば再配置の反

復回数の増加と共に第 1 の確率を徐々に小さくなるよう設定し、第 2 の確率が徐々に大きくなるように設定すれば、メッシュ点再配置の初期には、広範囲に移動させる確率を高め、完成に近づくと局所的に移動させて再配置を行う確率を高めることとなるので、一段と精度の高いメッシュを円滑に生成することができる。

また、所定の許可確率で、メッシュ点を評価関数が最適配置状態と逆向きに变化するように移動させ又は削除して再配置を行うことを許可することによって、厳密な計算によって局所解にとらわれたり、収束し難くなる条件下であっても、精度の高いメッシュを生成することができる。

また、プロセスシミュレーションに適用した場合に、特に高速にかつ高精度にメッシュを生成することができる。

また、例えば計算に必要な情報を記憶するための記憶領域をコンパクト化できるので、三次元への展開が比較的容易である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

この発明の第 1 実施例である適合メッシュ生成方法を説明するためのフローチャートである。

【図 2】

同適合メッシュ生成方法における移動可否判定方法を説明するためのフローチャートである。

【図 3】

この例に係る適合メッシュ生成処理プログラムの構成を示すブロック図である。

【図 4】

この例に係るシミュレーション装置の構成を示すブロック図である。

【図 5】

シミュレーション対象の製造途中の半導体デバイスにおける初期メッシュ点配置状態を模式的に示す図である。

【図 6】

この例の適合メッシュ点配置状態を模式的に示す図である。

【図 7】

この発明の第 2 実施例である適合メッシュ生成方法における移動可否判定方法を説明するためのフローチャートである。

【図 8】

この例のシミュレーション対象の製造途中の半導体デバイスにおける初期メッシュ点配置状態を模式的に示す図である。

【図 9】

この例の適合メッシュ点配置状態を模式的に示す図である。

【図 1 0】

この発明の第 3 実施例である適合メッシュ生成方法を説明するためのフローチャートである。

【図 1 1】

同適合メッシュ生成方法における変更可否判定方法を説明するためのフローチャートである。

【図 1 2】

この例に係る適合メッシュ生成処理プログラムの構成を示すブロック図である。

【図 1 3】

この例のシミュレーション対象の製造途中の半導体デバイスにおける初期メッシュ点配置状態を模式的に示す図である。

【図 1 4】

この例の適合メッシュ点配置状態を模式的に示す図である。

【図 1 5】

この発明の第 4 実施例である適合メッシュ生成方法を説明するためのフローチャートである。

【図 1 6】

この例に係る適合メッシュ生成処理プログラムの構成を示すブロック図である。

【図 1 7】

この発明の第 5 実施例である適合メッシュ生成方法を説明するためのフローチャートである。

【図 1 8】

この例に係る適合メッシュ生成処理プログラムの構成を示すブロック図である。

【図 1 9】

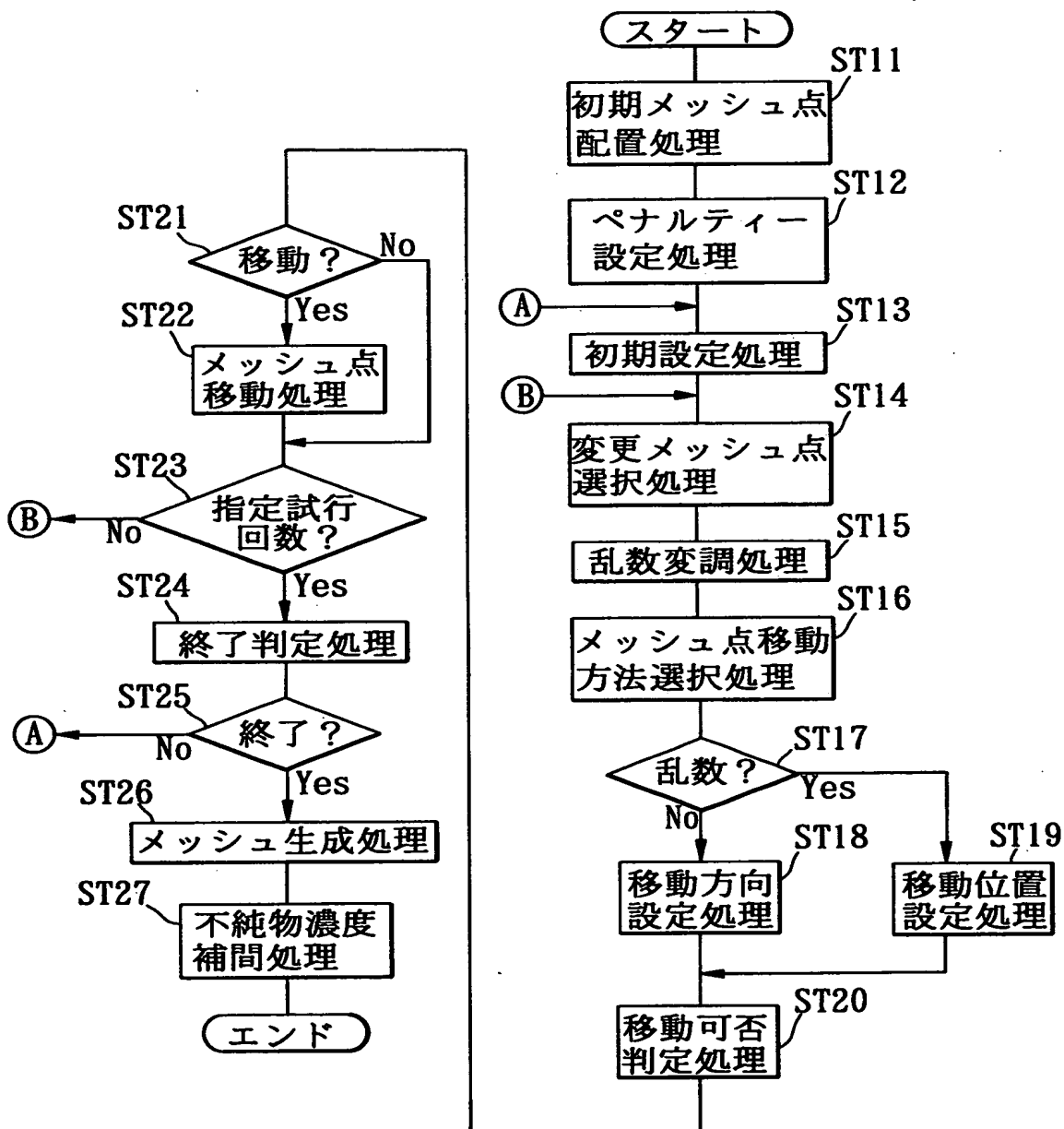
従来技術を説明するための説明図である。

【符号の説明】

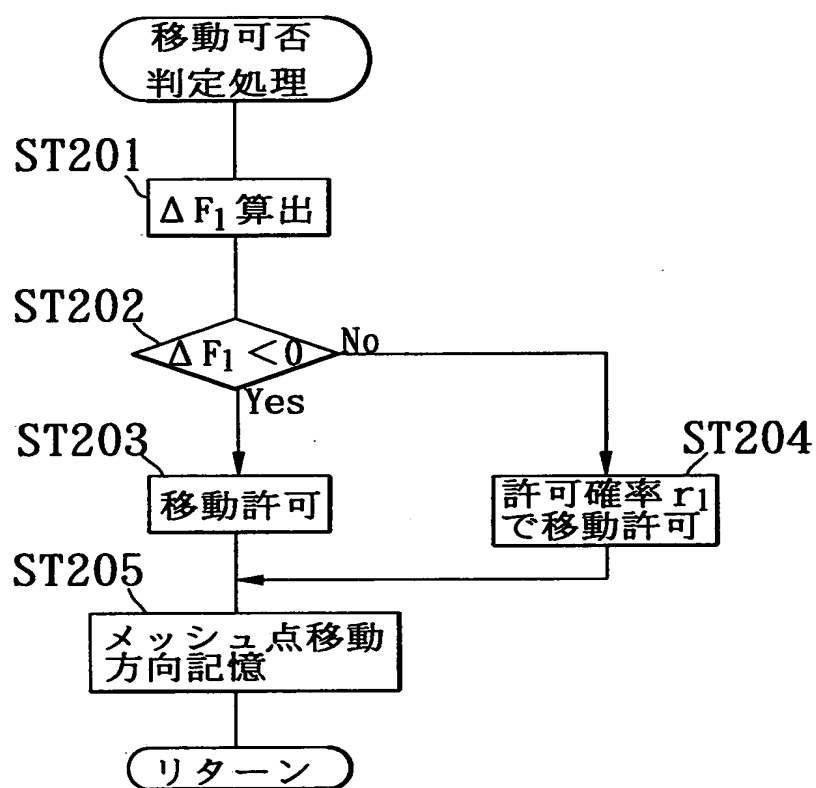
- 1 シミュレーション装置
 - 1 1 CPU
 - 1 2 ROM
 - 1 3 RAM
 - 1 4 ハードディスク記憶装置
- 2 半導体デバイス
 - 2 1 シリコン基板
 - 2 2 ゲート酸化膜
 - 2 3 ゲート電極
- ST 1 1, ST 3 1 ステップ（メッシュ点初期配置ステップ）
- ST 1 3, ST 3 3 ステップ（評価関数算出ステップ）
- ST 1 6 ステップ（第 1 の乱数発生ステップ）
- ST 1 9, ST 3 9 ステップ（乱数発生ステップ、第 2 の乱数発生ステップ）
- ST 2 0 ステップ（評価関数算出ステップ、再配置時評価関数算出ステップ、第 1 の再配置時評価関数算出ステップ、第 2 の再配置時評価関数算出ステップ、適合判定ステップ）
- ST 2 2, ST 4 2 ステップ（メッシュ点再配置ステップ）
- ST 4 0 ステップ（評価関数算出ステップ、再配置時評価関数算出ステップ、第 1 の再配置時評価関数算出ステップ、第 2 の再配置時評価関数算出ステップ、第 3 の再配置時評価関数算出ステップ、適合判定ステップ）

【書類名】 図面

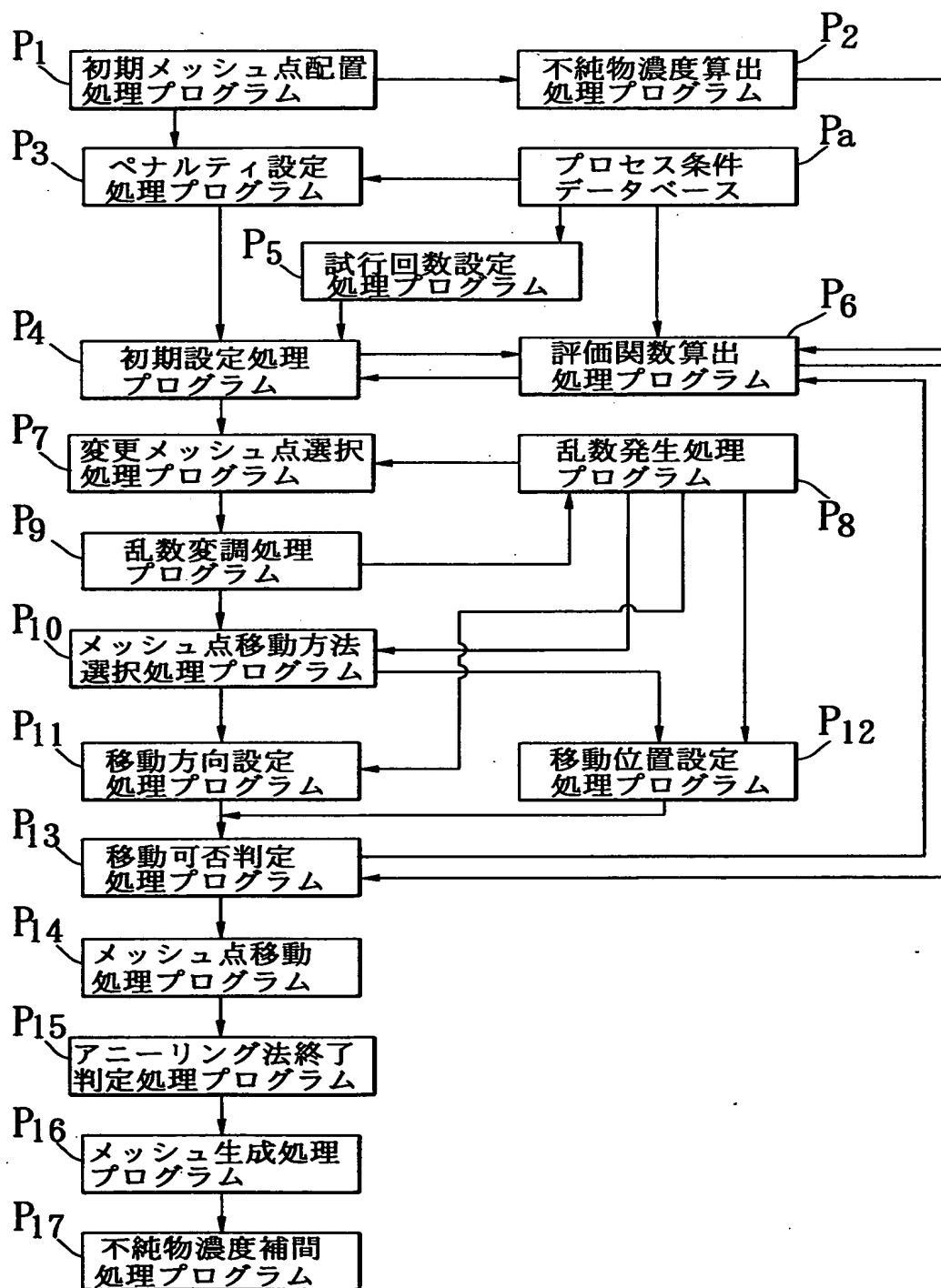
【図 1】



【図 2】

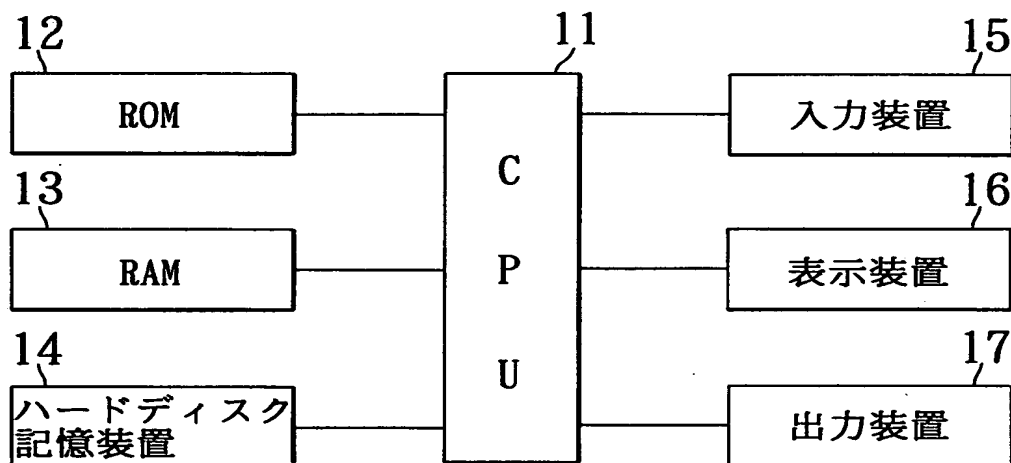


【図3】

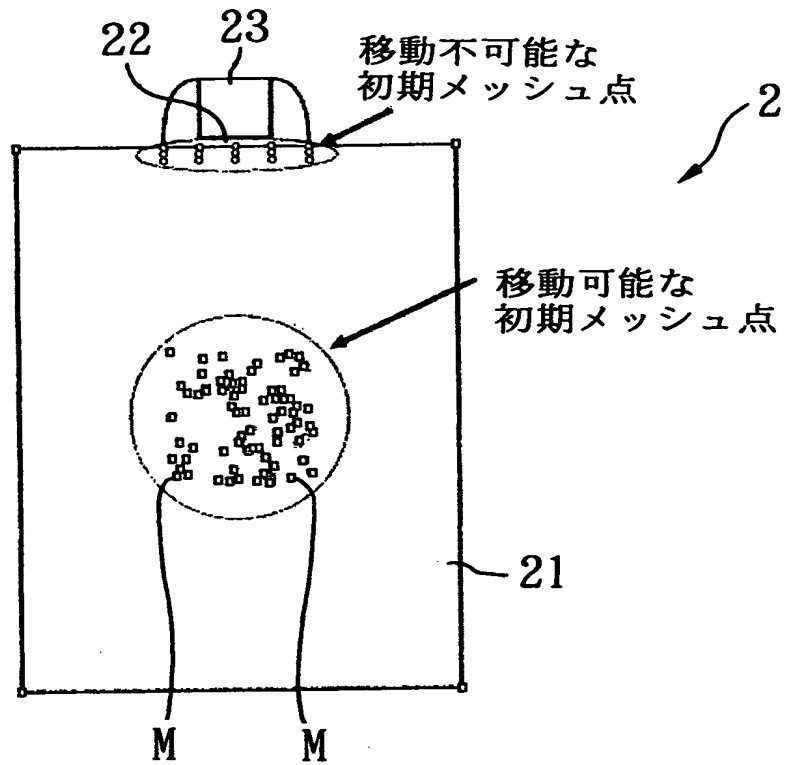


【図4】

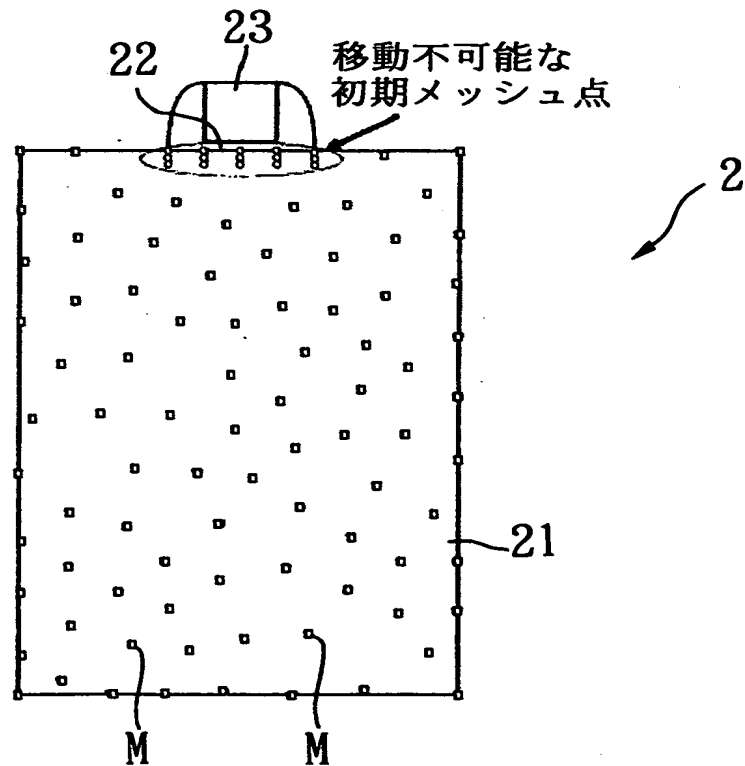
1 ; シミュレーション装置



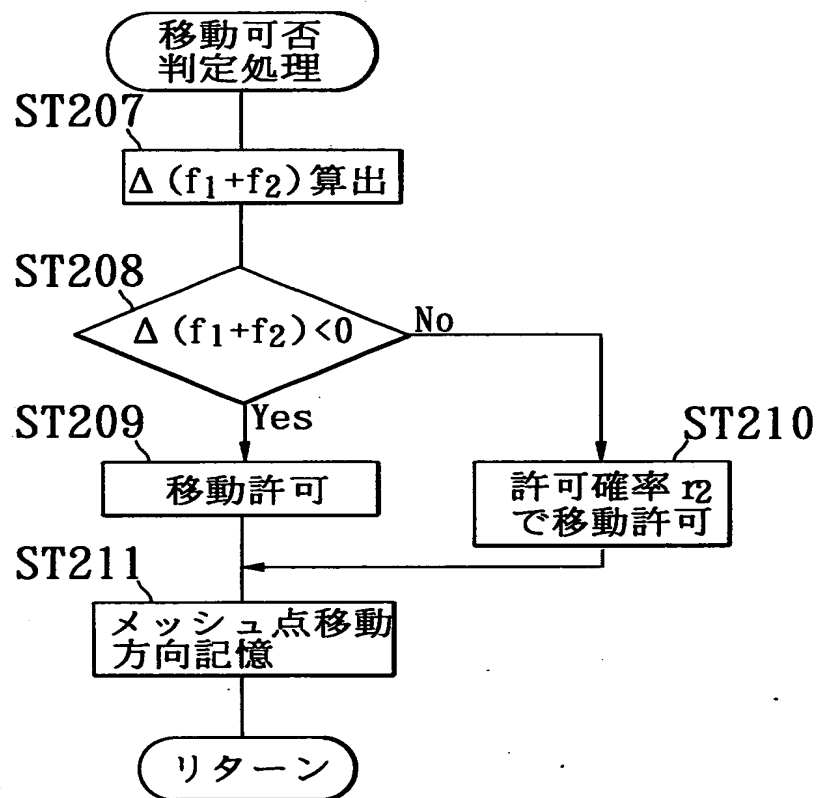
【図5】



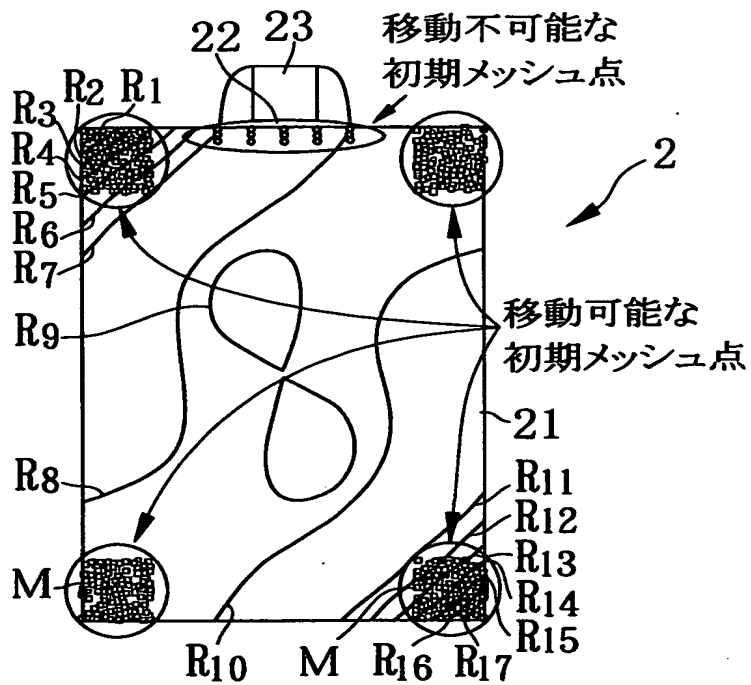
【図6】



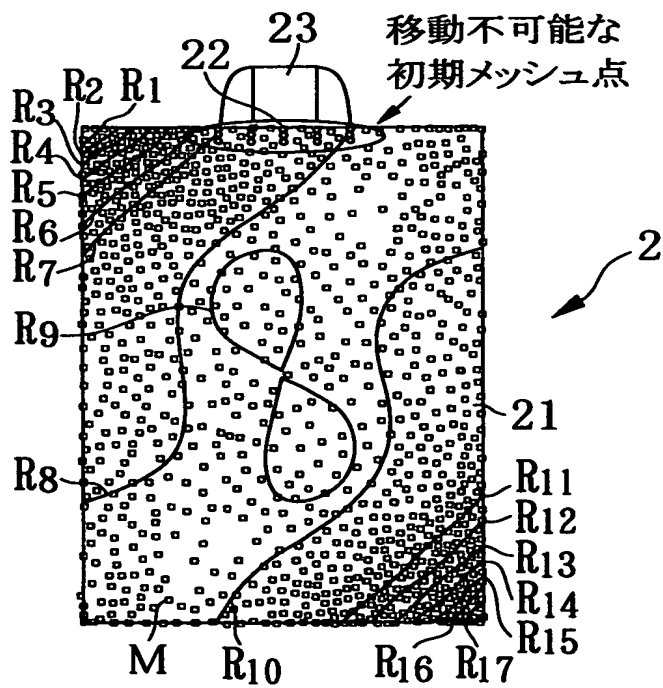
【図 7】



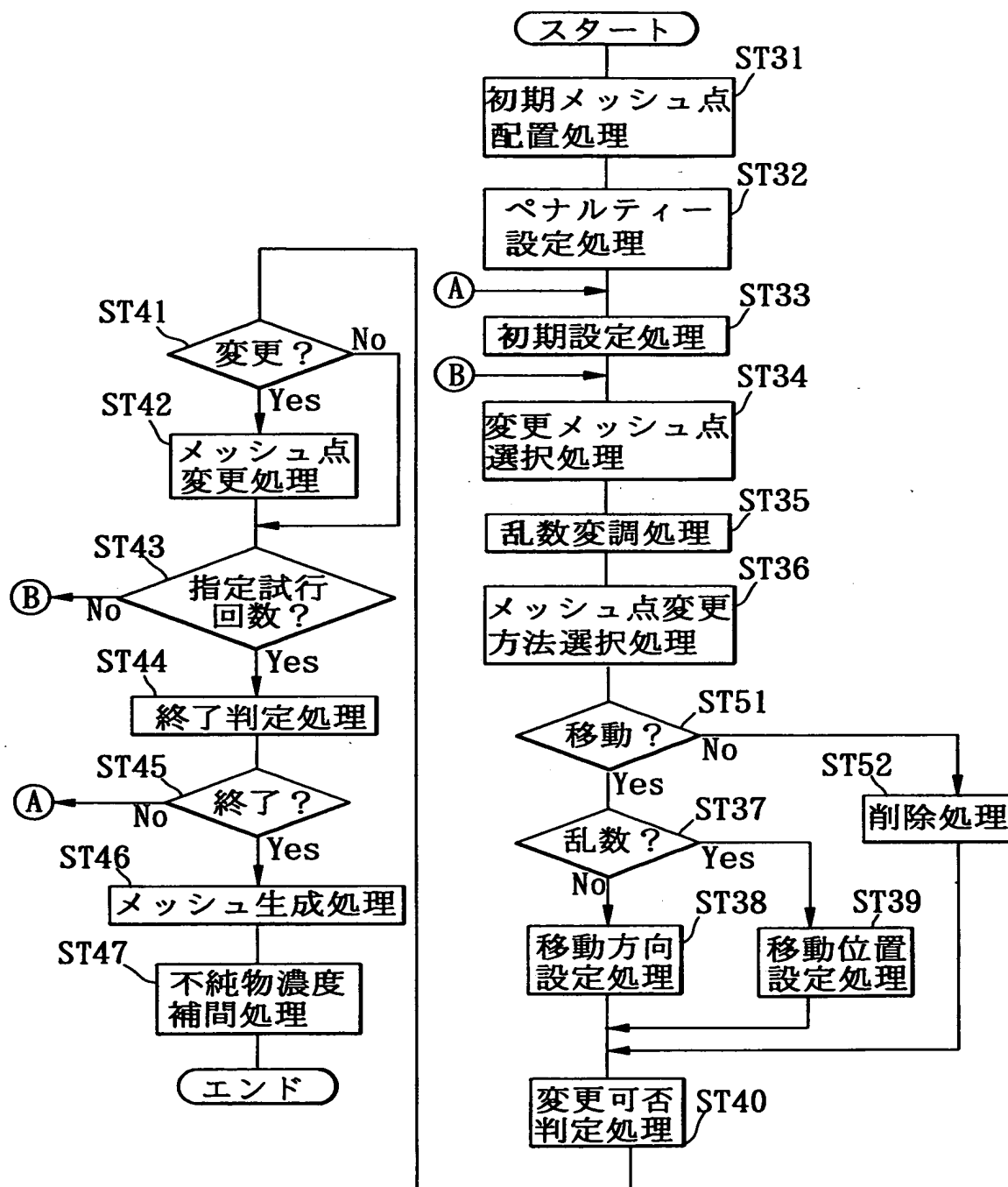
【図8】



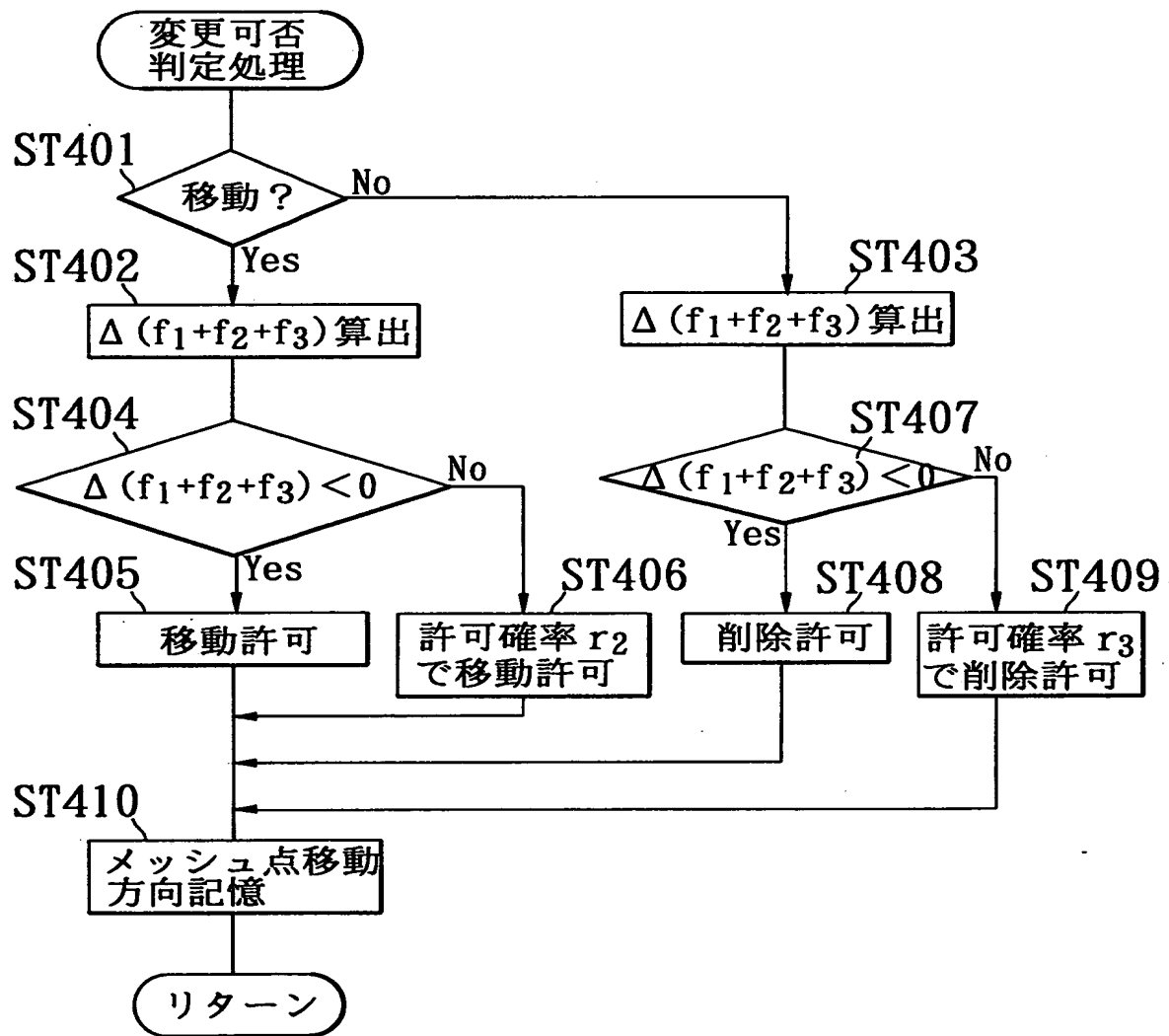
【図9】



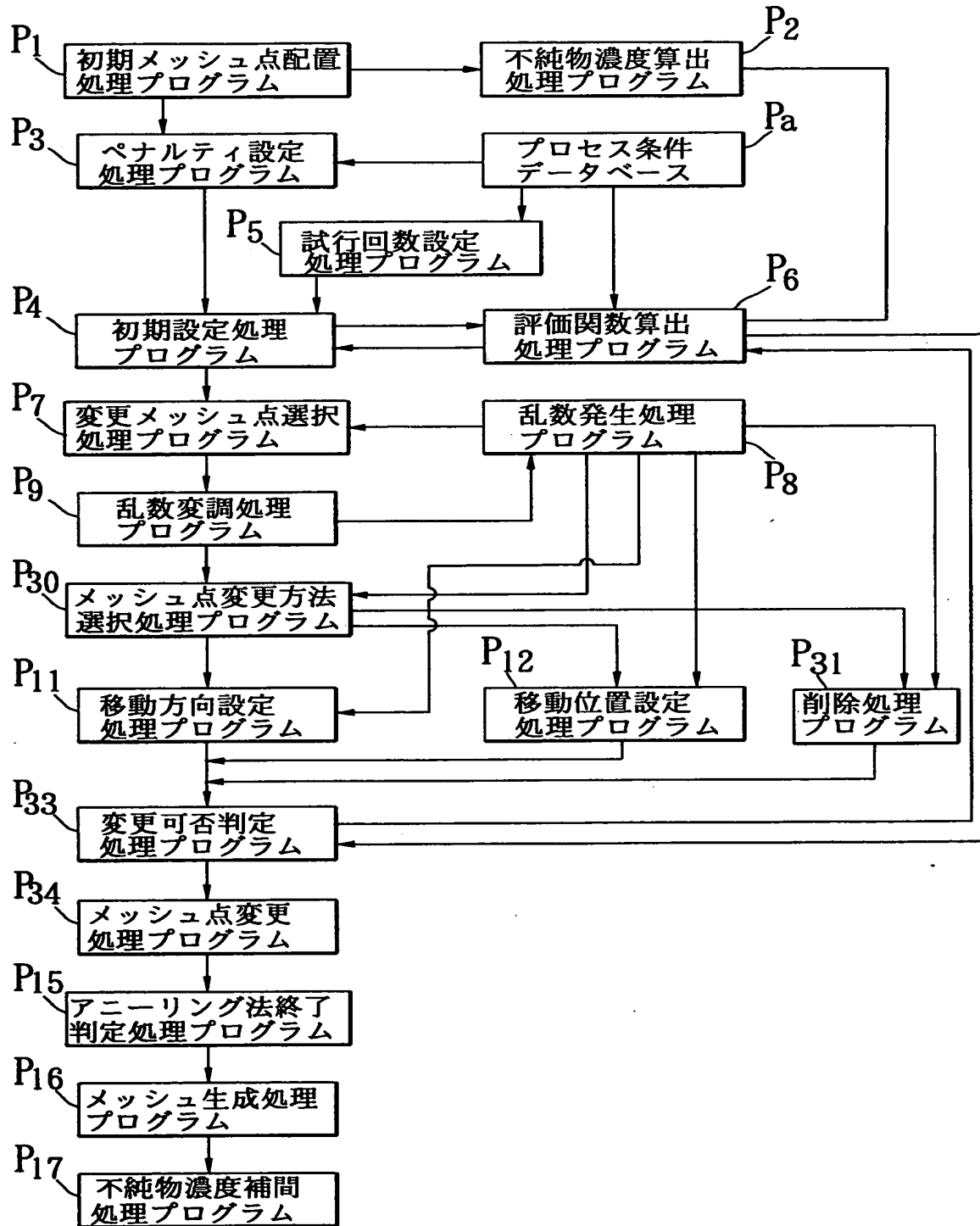
【図 1 0】



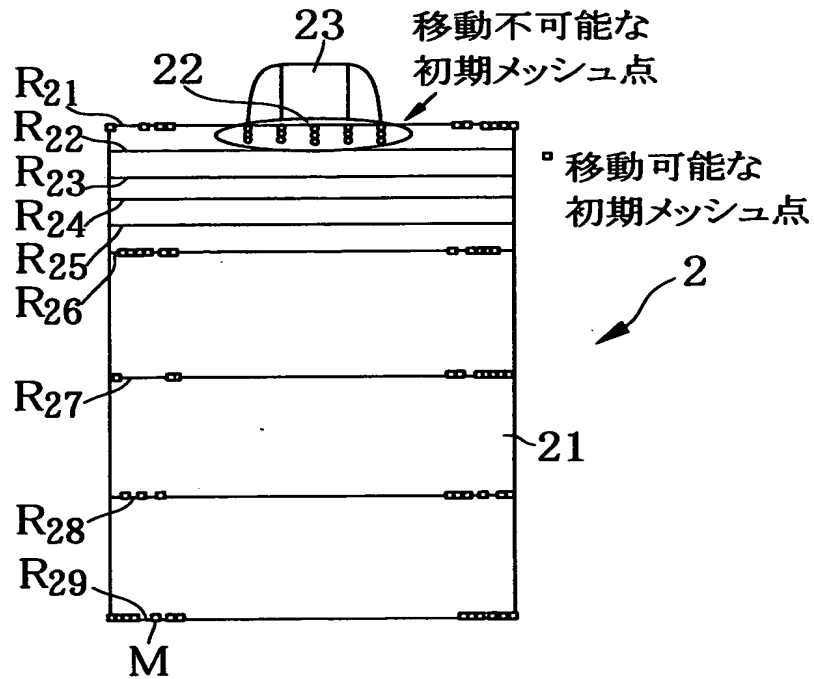
【図 11】



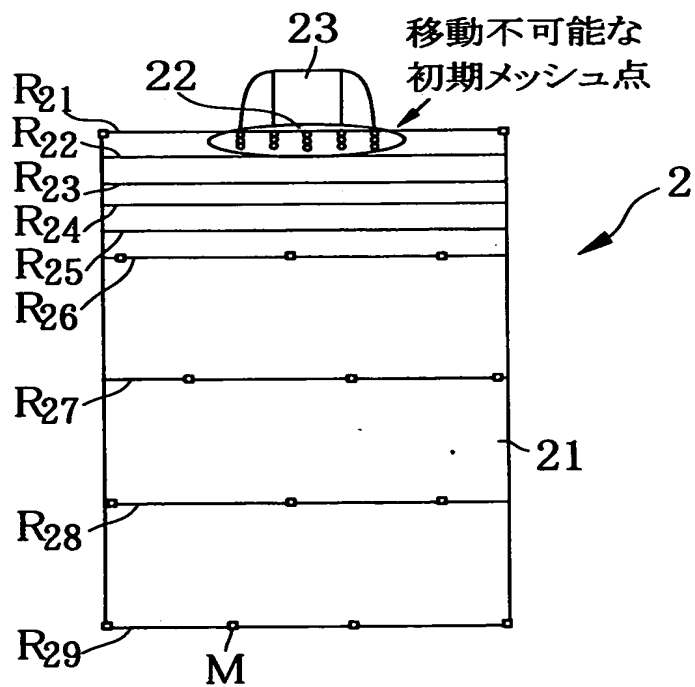
【図 12】



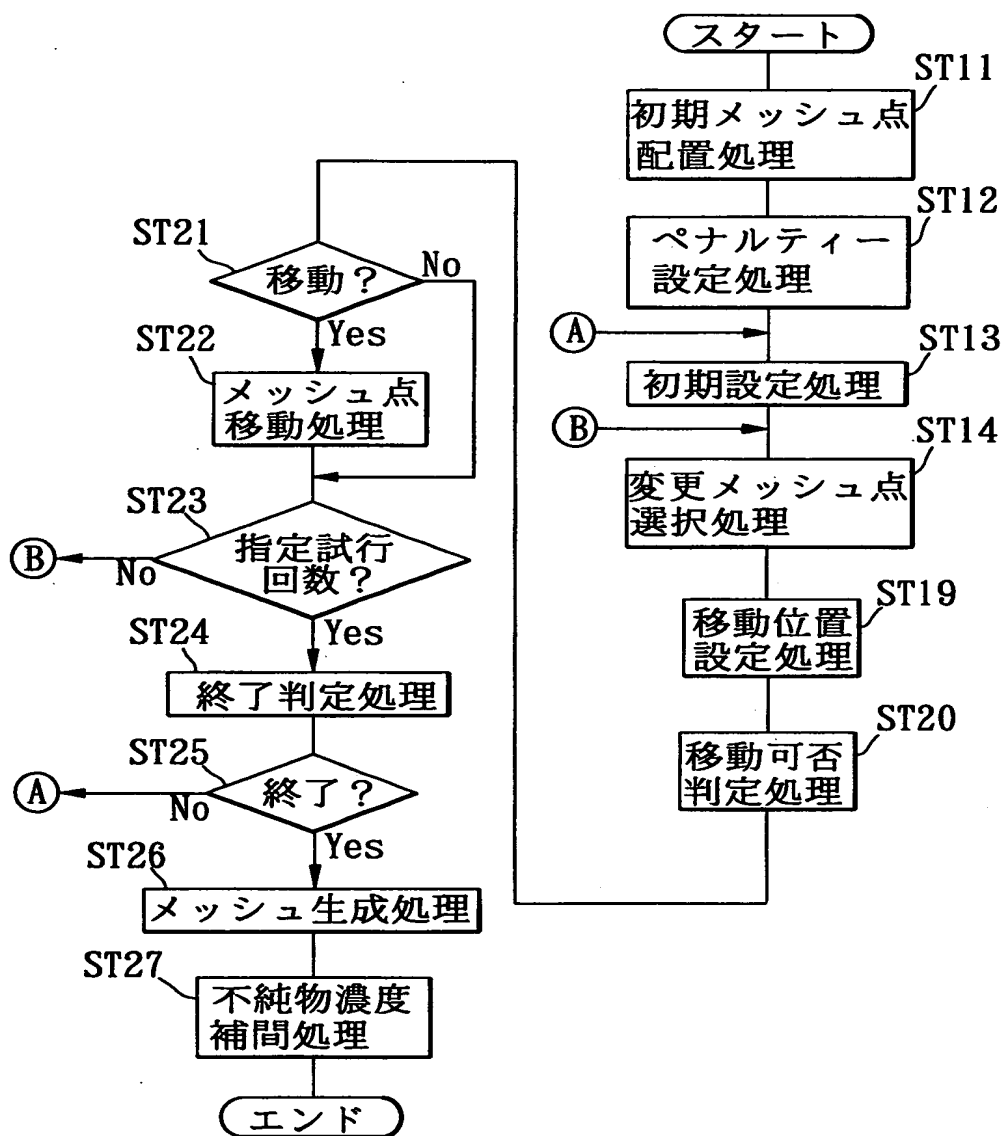
【図 1 3】



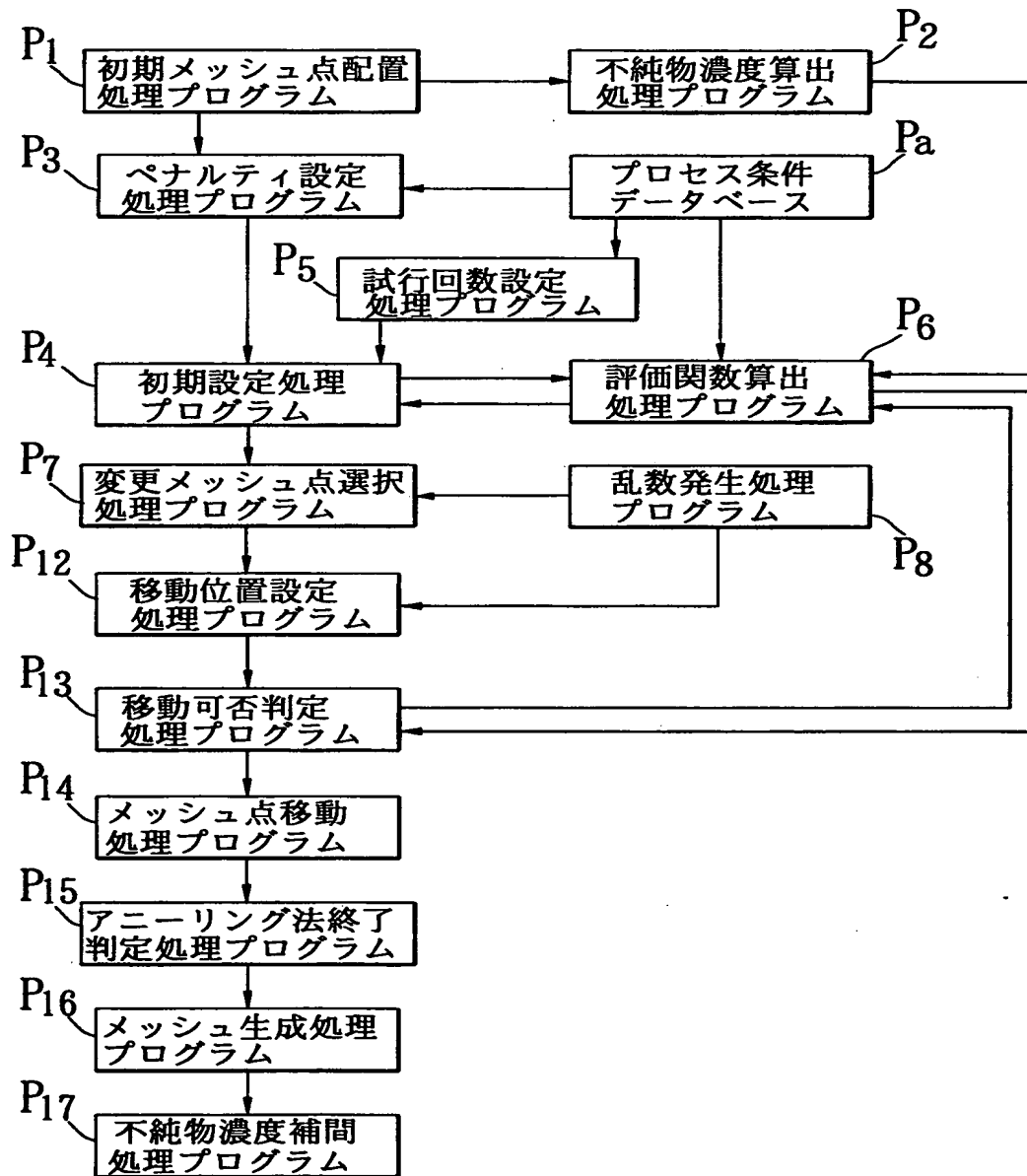
【図 1 4】



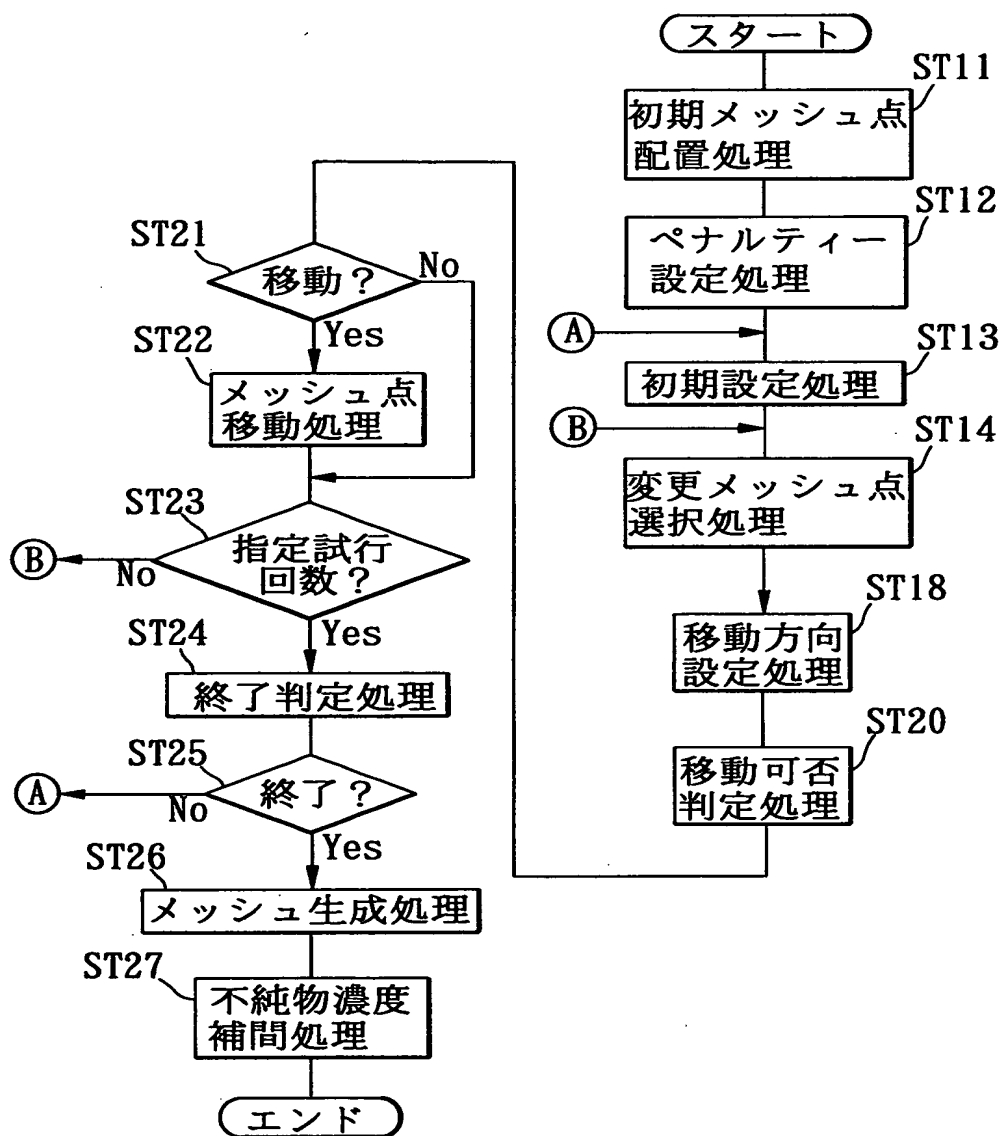
【図15】



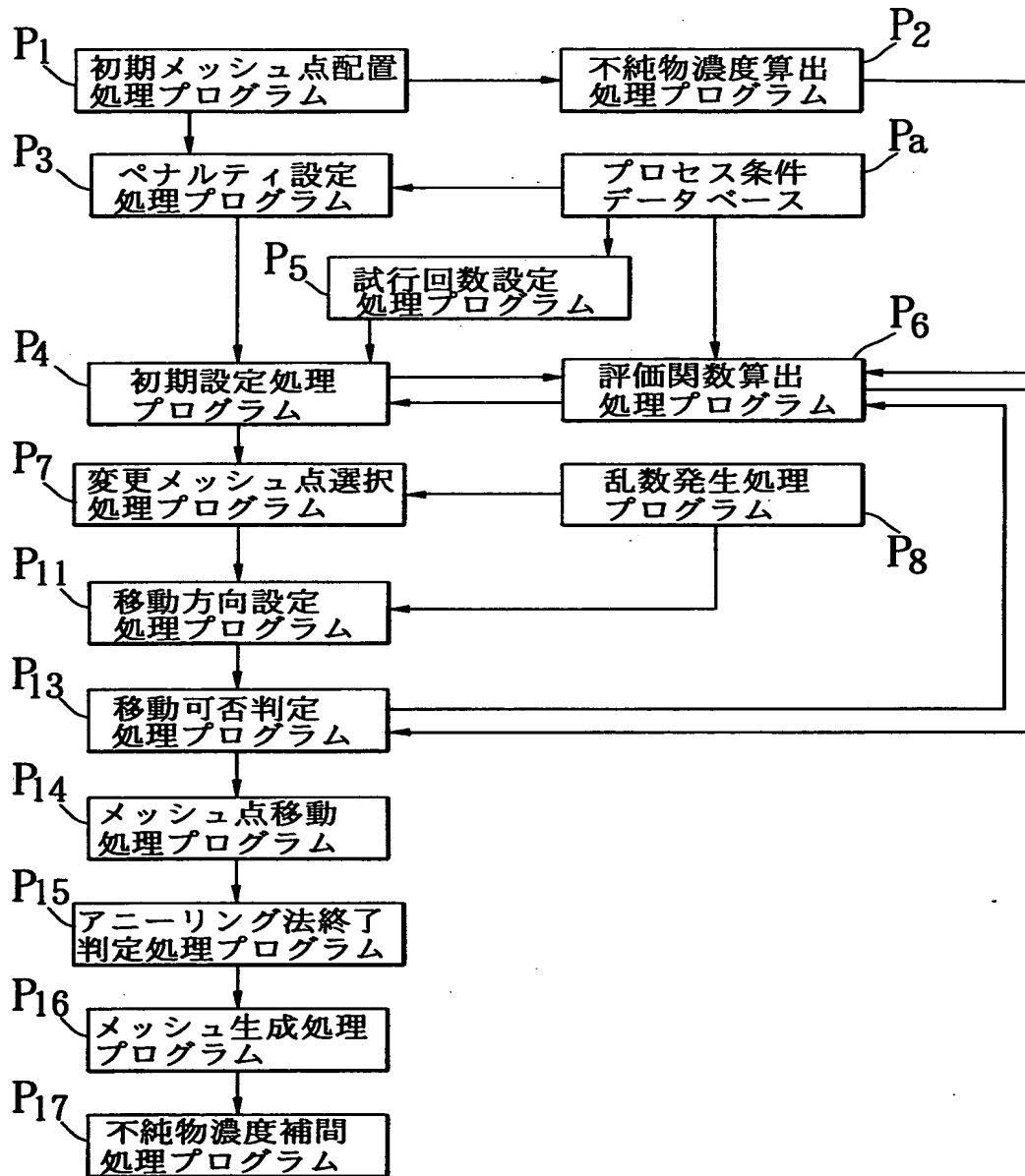
【図 1 6】



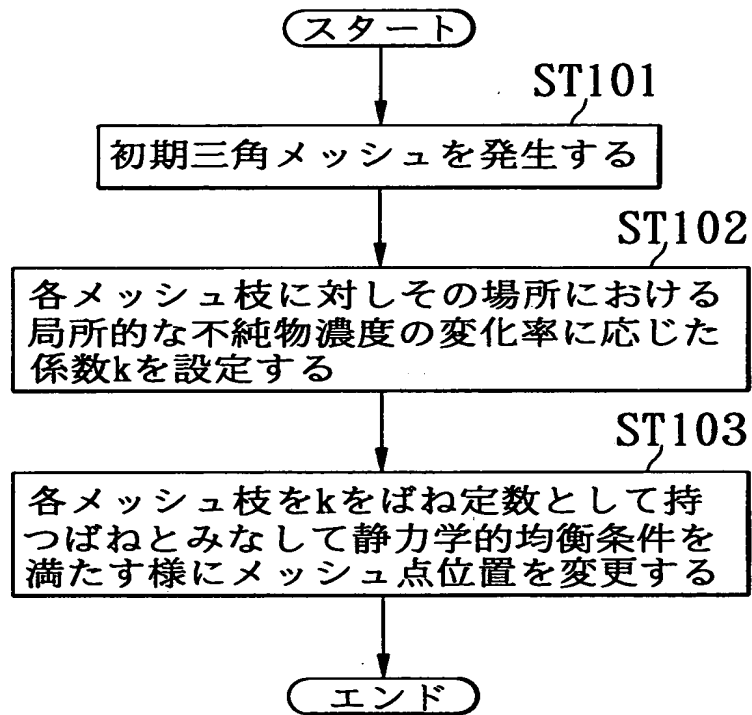
【図 1 7】



【図 18】



【図 1 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高速にかつ高精度に適合メッシュを生成する。

【解決手段】 メッシュ点を初期配置し判定条件値及び指定試行回数の初期値を設定する。次に、移動対象メッシュ点を乱数によって選択し、選択したメッシュ点を、所定の乱数メッシュ選択確率で移動先を乱数によって位置設定し、これ以外の場合は、このメッシュ点近傍の局所的領域で算出した評価関数が極小値になる方向を移動方向として設定する。次に、このメッシュ点の移動前の評価関数の値に対する移動させた場合の評価関数の値の変化分を算出し、この変化分が負であるときは移動を許可し、負でないときは所定の許可確率で移動を許可する。上記メッシュ点移動操作を指定試行回数繰り返した後、判定条件値及び乱数メッシュ選択確率を減少させ、指定試行回数を再設定して、メッシュ点の再配置を繰り返し継続し、評価関数の減少率が一定値以下となったならば再配置を終了する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004237]

1. 変更年月日 1990年 8月29日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都港区芝五丁目7番1号
氏 名 日本電気株式会社

特許庁
登録部
出願係
平成2年9月11日